



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN
PT. PERTAMINA RU VI BALONGAN**

Luvy Arfendi Putra
NRP 2210 100 202

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.
Ir. R. Wahyudi

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**STUDY OF COORDINATION ELECTRICAL SYSTEM
PROTECTION AT PT. PERTAMINA RU VI BALONGAN**

Luvy Arfendi Putra
NRP 2210 100 202

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. R. Wahyudi

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI
PADA SISTEM KELISTRIKAN
PT. PERTAMINA RU VI BALONGAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Nip. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II

Ir. R. Wahyudi
NIP. 195102021976031003





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU VI BALONGAN**

**Luvy Arfendi Putra
NRP 2210 100 202**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. R. Wahyudi**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

ABSTRAK

Nama : Luvy Arfendi Putra
NRP : 2210100202
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. R. Wahyudi

Studi Koordinasi Proteksi Pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan

Perusahaan *oil & gas* seperti PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan membutuhkan suplai daya listrik yang baik untuk menjamin keandalan dan kontinuitas sistem kelistrikan. Sistem kelistrikan haruslah memiliki koordinasi proteksi yang baik untuk menjaga sistem kelistrikan dari gangguan yang mungkin terjadi. Gangguan pada sistem kelistrikan sangat bervariasi dari besar hingga jenisnya. Koordinasi proteksi yang baik dapat mengatasi daerah gangguan dan mencegah pemadaman (*black out*) di daerah lain. Untuk menjaga dan meningkatkan performa sistem proteksi perlu dilakukan suatu studi terhadap koordinasi rele pengaman yang terpasang.

Maka dari itu, tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis terhadap koordinasi rele pengaman pada pabrik PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Dari hasil plot koordinasi kurva arus waktu kondisi *existing* dapat diketahui bahwa terdapat *miss-coordination* pada tipikal koordinasi yang dianalisis. Dari hasil analisis dan perhitungan manual dalam tugas akhir ini, direkomendasikan penyetelan ulang rele arus lebih dan rele arus lebih gangguan ke tanah. Diharapkan dengan *resetting* rele dapat mengamankan sistem kelistrikan di PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.

Kata Kunci : Gangguan, koordinasi proteksi, rele arus lebih dan rele arus lebih gangguan ke tanah

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

ABSTRACT

Name : Luvy Arfendi Putra
NRP : 2210100202
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Ir. R. Wahyudi

Study of Coordination Electrical System Protection at PT. Semen Tonasa

Oil & gas companies such as PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan need a good supply of electrical power to guarantee the reliability and continuity of the electrical system. The electrical system must have good coordination to maintain the protection of the electrical system disturbances may occur. Disturbances in the electrical system varies from large to its kind. Good protection coordination can overcome interference area and prevent blackouts in other areas. To maintain and improve the performance of the protection system needs to be carried out a study on the safety relay coordination installed.

Therefore, this thesis aims to analyze the coordination of safety relays on the PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. From the results of a flow curve plot coordination existing condition can be seen that there is a miss-coordination in typical coordination analyzed. From the analysis and manual calculations in this thesis, it is recommended resetting overcurrent relay and relay overcurrent interruption to the ground. It is expected to be able to secure the relay resetting the electrical system in PT.Pertamina (Persero) RU VI Balongan.

Keywords: *Fault, coordination of protection, overcurrent relay and relay to ground overcurrent interruption*

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya, Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA (PERSERO) RU VI BALONGAN

Dalam kesempatan yang berbahagia ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berjasa dalam proses penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Allah SWT atas karunia, berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Luluk Waluyo dan Lief Rachmania serta kedua saudara penulis Shella Fiorentina dan M. Luqman Ramadhan atas dukungan, dorongan semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan Ir. R. Wahyudi Selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan saran, masukan serta bimbingannya.
4. Annisa Ayuditya yang telah memberikan doa dan dukungannya kepada penulis.
5. Mas Andikta & Nadir Muhammad yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman – teman kontrakan gap kerah atas kerja sama, dukungan, dorongan semangat, diskusi dan telah menjadi sahabat selama proses pengerjaan tugas akhir.
7. Keluarga besar E-50, terutama sahabat-sahabat penulis Wildan, Kuntha, Arief Budi, Shandy, Afif, Aris, Ario, dll atas kebersamaan, kerja sama dan doanya selama ini.
8. Segenap civitas akademika Jurusan Teknik Elektro ITS dan keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro atas dukungan, kerja

sama, doa dan masukannya selama proses perkuliahan maupun pengerjaan tugas akhir

Besar harapan penulis agar buku ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari seluruh pembaca.

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

JUDUL

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	5

BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik	8
2.2 Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	8
2.2.1 Gangguan Hubung Singkat	9
2.2.1 Gangguan Tegangan Lebih	11
2.2.3 Gangguan Gangguan Beban Lebih	12
2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat	12
2.3.1 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah	12
2.3.2 Hubung Singkat Antar Fasa	12
2.3.3 Hubung Singkat Fasa ke Netral	12
2.4 Proteksi Sistem Tenaga Listrik	12
2.5 Rele Arus Lebih	14
2.5.1 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	14
2.5.2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Invers	15
2.5.3 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan	16
2.6 Penyetelan Rele Arus Lebih	17
2.5.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers	18

2.5.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	19
2.7 Rele Gangguan Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>)	20

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.....	23
3.2 Rating Tegangan.....	23
3.3 Kapasitas Pembangkitan	23
3.4 Sistem Distribusi.....	25
3.5 Data Beban	27

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PT. PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan	29
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi <i>Setting</i> Rele Pengaman Pada PT. PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.....	29
4.3 Analisis Arus Hubung Singkat.....	30
4.3.1 Hubung Singkat Maksimum.....	31
4.3.2 Hubung Singkat Minimum.....	31
4.3.3 Hubung Singkat Gangguan Satu Fasa ke Tanah	32
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	32
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1	33
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2	47
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3	55
4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 4	62
4.4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 5	67
4.5 Hasil Perbandingan <i>Setting</i> Eksisting dan <i>Resetting</i>	72

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73

DAFTAR PUSTAKA.....

RIWAYAT PENULIS

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Gambar dan persamaan gangguan hubung singkat	9
Tabel 2.2 Koefisien <i>inverse time</i> dial	19
Tabel 3.1 Data kapasitas pembangkit di PT. Pertamina RU VI Balongan	23
Tabel 3.2 Rating <i>Steam Turbin Generator</i>	24
Tabel 3.3 Rating <i>Emergency Diesel Generator</i>	24
Tabel 3.4 Data reaktansi <i>Steam Turbin Generator</i>	24
Tabel 3.5 Data transformator utama.....	25
Tabel 3.6 Data bus utama.....	25
Tabel 3.7 Data transformator distribusi 20/3.15 kV	25
Tabel 3.8 Data pembebanan masing-masing substation.....	27
Tabel 4.1 Data hubung singkat maksimum 4 <i>cycle</i>	31
Tabel 4.2 Data hubung singkat minimum 30 <i>cycle</i>	32
Tabel 4.3 Data <i>setting</i> rele <i>overcurrent</i> eksisting dan <i>resetting</i>	73
Tabel 4.4 Data <i>setting</i> rele <i>groundfault</i> eksisting dan <i>resetting</i>	73

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Metodologi pengerjaan tugas akhir	4
Gambar 2.1 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu (<i>definite time</i>)	15
Gambar 2.2 Karakteristik <i>standart inverse, very inverse</i> <i>dan extremely inverse</i>	16
Gambar 2.3 Karakteristik rele arus lebih instant	17
Gambar 2.4 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instant ..	17
Gambar 2.5 Rele arus lebih pengaman trafo	19
Gambar 2.6 (a) Rangkaian <i>zero sequence filter</i>	21
(b) Hubung singkat satu fasa ke tanah	21
Gambar 4.1 Koordinasi rele tipikal 1.a	33
Gambar 4.2 Kurva koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 1.a	34
Gambar 4.3 Kurva koordinasi arus waktu <i>resetting</i> tipikal 1.a	39
Gambar 4.4 koordinasi rele tipikal 1.b	40
Gambar 4.5 Kurva arus waktu kondisi <i>existing</i> tipikal 1.b	41
Gambar 4.6 kurva arus waktu kondisi <i>resetting</i> tipikal 1.b	47
Gambar 4.7 koordinasi rele tipikal 2	48
Gambar 4.8 Kurva koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 2	49
Gambar 4.9 Kurva koordinasi arus waktu <i>resetting</i> tipikal 2	54
Gambar 4.10 Koordinasi rele tipikal 3	55
Gambar 4.11 Kurva koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 3	56
Gambar 4.12 Kurva koordinasi arus waktu <i>resetting</i> tipikal 3	62
Gambar 4.13 Koordinasi rele tipikal 4	63
Gambar 4.14 Kurva Koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 4	64
Gambar 4.15 Kurva koordinasi arus waktu <i>resetting</i> tipikal 4	67
Gambar 4.16 Koordinasi rele tipikal 5	68
Gambar 4.17 Kurva koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 5	69
Gambar 4.18 Kurva koordinasi arus waktu <i>resetting</i> tipikal 5	72

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan merupakan salah satu kilang pengolahan minyak mentah (*crude oil*) menjadi produk-produk BBM, Non BBM dan Petrokimia. PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan menggunakan 4 unit *steam turbin generator* dengan kapasitas masing-masing 22 MW dan 1 unit generator dalam kondisi *standby* dengan kapasitas 22 MW. Sedangkan total *substation* yang berada pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan berjumlah 15 *substation* dan terdiri dari empat *rating* tegangan, sedangkan sistem jaringan distribusinya menggunakan radial dan juga menggunakan sistem *double bus bar*. PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan hingga saat ini belum dilakukan studi tentang koordinasi pengaman rele arus lebih.

Kontinuitas daya listrik pada suatu industri diperlukan untuk menunjang proses produksi. Namun kontinuitas daya listrik pada suatu industri akan mengalami gangguan pada sistem kelistrikan, salah satunya gangguan adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat ini pada umumnya mengganggu proses produksi yang dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan penunjang proses produksi dan operator. Maka dibutuhkan peralatan pengaman untuk suatu sistem kelistrikan industri agar gangguan dapat dilokalisasi secepat mungkin dan tidak mengganggu proses produksi. Rele pengaman ini perlu di-*setting* dan dikoordinasikan dengan rele lainnya agar lebih handal dalam mengamankan sistem kelistrikan industri.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana setting koordinasi rele pengaman di PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan saat ini ?
2. Bagaimana analisa yang dapat disimpulkan dari kurva rele pengaman pada sistem kelistrikan pengaman di PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan ?
3. Bagaimana setting koordinasi yang tepat untuk sistem kelistrikan di PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Tugas akhir ini dilakukan menggunakan software ETAP 7.5.0.
2. Data yang digunakan adalah sistem kelistrikan di PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.
3. Hanya memperhatikan setting koordinasi rele pengaman.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tugas akhir ini memiliki tujuan mendapatkan setelan rele yang akurat dan mempelajari karakteristik beban pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan, kemudian dilakukan *resetting* dan koordinasi rele pengaman arus lebih yang tepat pada sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.

Hasil yang diharapkan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah dapat memberikan manfaat, yaitu menjadi referensi dan rekomendasi untuk melakukan perbaikan bagi PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan khususnya setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih dan juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya tentang koordinasi rele pengaman arus lebih.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data dan studi literatur
Pengumpulan data dan studi literatur dibutuhkan untuk membantu pemahaman mengenai permasalahan yang dihadapi. Data yang diperlukan untuk pengerjaan tugas akhir ini adalah *rating* generator, trafo, kabel, motor, kapasitas busbar dan *single line diagram* PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Literatur yang digunakan berupa beberapa buku, jurna ilmiah, serta *user manual* peralatan.
2. Pemodelan dan simulasi
Pemodelan akan menggunakan *software* simulasi ETAP 7.5. Dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan *single line diagram*

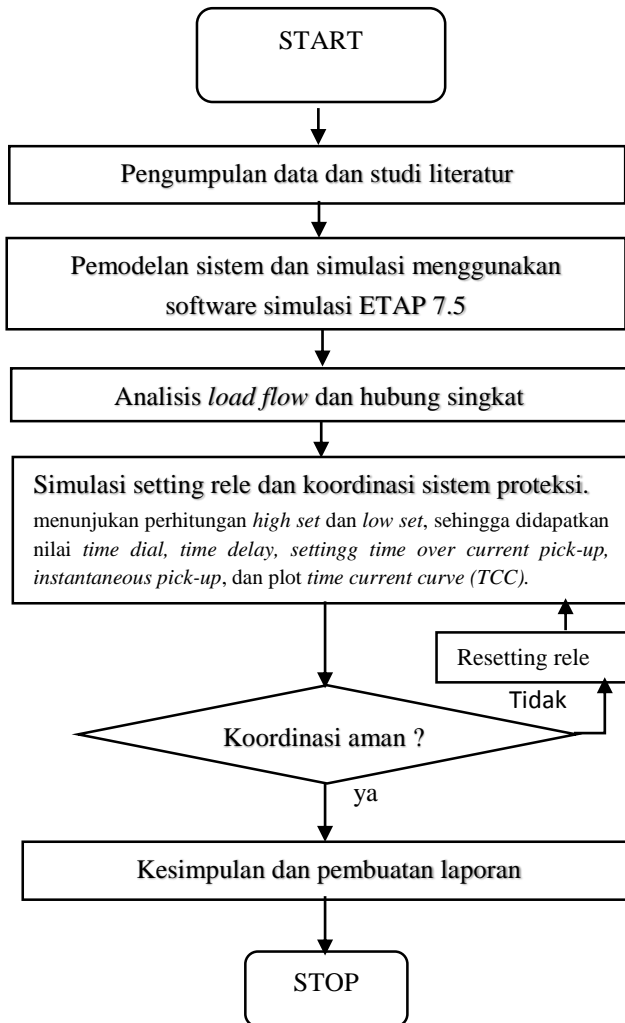
pada *software* simulasi. Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat yang bertujuan untuk mengetahui besarnya daya yang mengalir ke beban dan arus hubung singkat yang terjadi pada sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.

3. Analisis

Hasil dari simulasi aliran daya dan hubung singkat digunakan untuk menganalisis setelan dan koordinas rele-rele pengaman arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah yang terpasang pada sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Analisis ini dilakukan dengan menunjukkan perhitungan *high set* dan *low set*, sehingga didapatkan nilai *time dial*, *time delay*, *settingg time over current pick-up*, *instantaneous pick-up*, dan *plot time current curve (TCC)*. Dengan mengetahui nilai tersebut dapat kita ketahui setelan dan koordinasi rele pengaman arus lebih yang terpasang sudah tepat atau masih perlu diperbaiki lagi sehingga dilakukan *resetting* rele dan koordinasi rele pengaman yang tepat.

4. Kesimpulan

Langkah akhir dari penyusunan tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan. Selain itu juga akan diberikan saran dan rekomendasi tentang penelitian yang telah dilakukan. Alur metodologi penyusunan tugas akhir ini dapat digambarkan dalam *flowchart* pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 *Flow chart* metodologi pengerjaan tugas akhir

1.6 Sistematika penulisan

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi pengerjaan tugas akhir, sistematika pembahasan dan relevansi dari penulis.

BAB II : KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

Pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB III : SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA (PERSERO) RU VI BALONGAN.

Dalam bab ini dijelaskan metode pelaksanaan studi serta penerapannya dalam studi kasus pada sistem tenaga listrik PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan, bagaimana konfigurasinya dan beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini akan disajikan analisis terhadap kinerja dan koordinasi rele arus lebih ketika terjadi gangguan, serta beberapa rekomendasi untuk memperbaiki setelan yang sudah ada sehingga menghasilkan koordinasi rele pengamanan yang lebih baik.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

Masalah koordinasi proteksi pada suatu sistem kelistrikan telah menjadi masalah yang umum dan harus segera diatasi untuk menjaga keandalan dan juga menjaga kontinuitas pada suatu sistem kelistrikan. Masalah yang berhubungan dengan proteksi sistem tenaga listrik ini bermacam-macam dari gangguan hubung singkat hingga permasalahan pada sistem pentanahan. Oleh karena itu setting proteksi yang diterapkan haruslah merasakan gangguan secepat mungkin dan mengisolasi gangguan, sehingga dapat mencegah kerugian produksi yang besar akibat padamnya peralatan atau kerusakan peralatan.

Koordinasi rele adalah pengaturan setting arus dan waktu dari beberapa rele pengaman agar diperoleh selektivitas yang tinggi dalam melokalisir gangguan yang terjadi agar tidak terjadi trip di sisi hulu dan hilir pada saat yang bersamaan. Kecepatan waktu pemutusan (*trip*) yang tepat dapat memberikan perlindungan yang baik kepada sistem dan peralatan yang ada agar tidak terjadi kerusakan, hal ini juga mencegah terjadinya kebakaran. Rele Rele yang yang digunakan bermacam-macam, salah satunya Rele arus lebih dan Rele *Ground Fault*.

Dalam pemilihan rele proteksi terdapat beberapa pertimbangan sebagai berikut : Proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simple, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal.

Zona proteksi diklasifikasikan sebagai primer dan *back-up*. Rele proteksi primer adalah perlindungan pertama terhadap gangguan sistem dan beroperasi pertama untuk mengisolasi gangguan. Pada umumnya, rele kecepatan-tinggi (misal, waktu operasi *breaker* 1 cycle hingga 3 cycle). Jika rele proteksi primer tidak dapat mengisolasi gangguan setelah beberapa waktu delay, rele proteksi *back-up* akan bekerja dengan melakukan *trip circuit breaker* utama atau dengan melakukan *trip circuit breaker* pada zona yang berdekatan.

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan dan arus yang tidak normal.
2. Pemasangan rele yang kurang baik.
3. Terjadinya kesalahan mekanis karena adanya proses penuaan pada peralatan.
4. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat pada isolasi.
5. Beban lebih.

Sedangkan untuk gangguan pada sistem tenaga listrik yang berasal dari luar sistem antara lain :

1. Gangguan-gangguan yang bersifat mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, bintang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Untuk jenis gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu [2]:

1. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu untuk memperbaikinya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.
2. Gangguan yang bersifat temporer, dimana gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan seketika, baik hilang dengan sendirinya maupun karena kerja alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

2.2 Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan timbulnya arus lebih yang dapat terjadi diantaranya

gangguan hubung singkat (*short circuit*), gangguan tegangan lebih (*overvoltage*), dan Gangguan beban lebih (*overload*) [2].

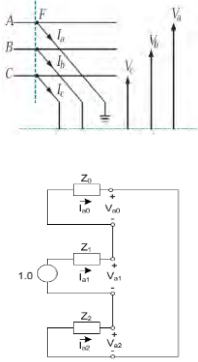
2.2.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan menyebabkan kenaikan tegangan pada yang tidak terganggu. Gangguan hubung singkat dapat terjadi pada satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa, atau tiga fasa ke tanah.

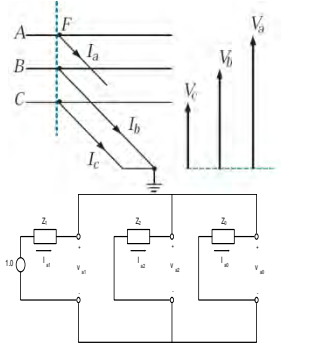
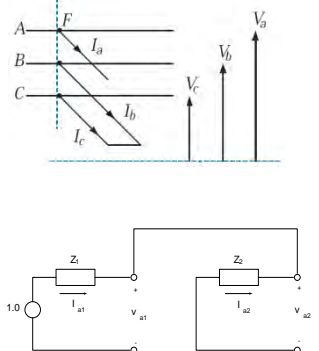
Gangguan hubung singkat ini dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat asimetri. Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat asimetri adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan selain hubung singkat tiga fasa termasuk gangguan hubung singkat simetri [1].

Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah. Gangguan hubung singkat juga berakibat pada kestabilan daya dan kontinuitas ke beban pada suatu sistem listrik. Pada **Tabel 2.1** dibawah ini kita dapat melihat rangkain pengganti dan persamaan yang menerangkan tentang hubung singkat.

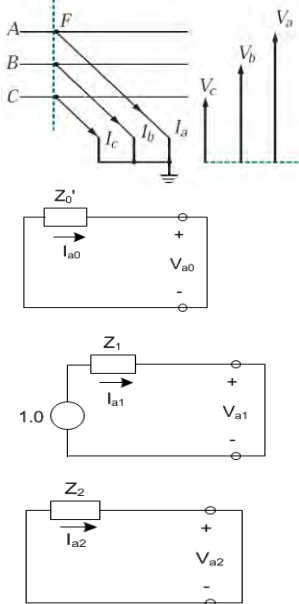
Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
1 phasa ke tanah		$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ $I_{sc} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$

Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat (lanjutan)

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
2 phasa ke tanah		$I_a = 0$ $V_b = 0$ $V_c = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)}$
Antar phasa		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{sc} = \left \pm j \frac{\sqrt{3} V_f}{Z_1 + Z_2} \right $

Tabel 2.1 Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat (lanjutan)

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
3 phasa langsung (simetri)		$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$ $I_{sc} = \frac{V_f}{Z_1}$

2.2.2 Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih dapat terjadi ketika ada kelainan pada sistem listrik, antara lain :

1. Gangguan petir
2. Gangguan surja hubung, diantaranya adalah penutupan saluran yang tidak serempak pada saat pemutusan tiga fasa, penutupan saluran kembali dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk ke dalam sistem dan sebagainya.

2.2.3 Gangguan Beban Lebih

Timbulnya gangguan ini dikarenakan adanya arus yang mengalir melebihi kapasitas suatu peralatan listrik dan pengamanan yang terpasang. Gangguan beban lebih bukan bersifat gangguan murni, namun apabila dibiarkan dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Kita dapat menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dengan cara sebagai berikut [4]:

- **Hubung Singkat Tiga Fasa**

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc3}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc3} = \frac{VLN}{X_1} \quad (2.1)$$

Di mana VLN adalah tegangan nominal *line to netral*, dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

- **Hubung Singkat Antar Fasa**

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc2}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc2} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0.866 I_{sc3} \quad (2.2)$$

- **Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc0}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3VLN}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (2.3)$$

2.4 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Dalam suatu sistem proteksi haruslah dapat mengatasi berbagai macam gangguan-gangguan yang memungkinkan terjadinya bahaya, oleh

sebab itu dibutuhkan rele pengamanan. Sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menghasilkan dan mengalirkan energi listrik ke konsumen oleh karena itu sistem tersebut haruslah dirancang sebaik mungkin agar kontinuitas tetap terjaga, handal, dan ekonomis. Dalam membangun suatu sistem tenaga listrik diperlukan biaya yang banyak karena sistem yang rumit dan membutuhkan peralatan yang bermacam-macam. Dengan lengkapnya peralatan yang digunakan diharapkan sistem pengamanan berjalan dengan baik dan tepat.

Dalam pengoperasiannya, peralatan rele pengamanan sistem tenaga listrik harus memenuhi beberapa syarat [4]:

- Selektifitas

Selektifitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan *tripping* secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistemproteksi tersebut.

Dalam pengertian lain, suatu sistem proteksi sistem tenaga harus bisa bekerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jeni gangguan yang harus diamankan. Selektifitas sistem proteksi terkait juga dengan kemampuan diskriminasi yang dalam praktiknya dapat dilakukan dengan dua cara yaitu waktu bertingkat (*time grading*) dan sistem unit proteksi.

- Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu untuk tetap bertahan pada karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh faktor luar di luar daerah proteksinya, misalnya pada arus beban lebih dan arus gangguan lebih.

Dengan kata lain, stabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksi di mana dia dirancang tanpa terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang bukan merupakan besaran yang perlu dipertimbangkan.

- Sensitifitas

Sensitifitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lain di mana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele disebut sensiti bila parameter operasi utamanya rendah. Artinya, semakin rendah

besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin Sensitifitas.

Sensitifitas pada rele elektromekanikal terdahulu biasanya dikaitkan dengan kepekaan dari perangkat Bergeraknya terhadap daya yang diserap dalam bentuk volt-ampere di mana rele bekerja. Semakin kecil VA yang dibutuhkan maka rele elektromekanik tersebut semakin sensitif. Pada rele-rele numerik, sensitifitas tidak dikaitkan lagi pada perangkat kerasnya tetapi lebih pada aplikasi dan parameter trafo arus (*CT-current transformer*) atau trafo tegangan (*VT-Voltage transformer*) yang digunakan.

- Kecepatan

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mengisolasi gangguan secepat dan sesegara mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem yang pada akhirnya dapat merusak sistem tenaga tersebut.

Bila pembebanan sistem tenaga tenaga naik, pergeseran fasa antara dua busbar yang berbeda juga naik dan karena itu bila gangguan terjadi maka kemungkinan besar akan kehilangan sistem sinkronisasi. Makin singkat waktu yang diperbolehkan pada gangguan maka kontinuitas pelayanan sistem akan semakin baik.

- Kendalan

Kebutuhan perangkat sistem proteksi dengan tingkat keandalan yang tinggi merupakan salah satu faktor pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan jaringan sistem tenaga listrik. Dari berbagai pengalaman lapangan terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keandalan sistem proteksi jaringan tenaga listrik, yaitu sebagai berikut : perancangan, setelan rele, salah instalasi, salah pengetesan, pemburukan, faktor kinerja.

2.5 Rele arus lebih

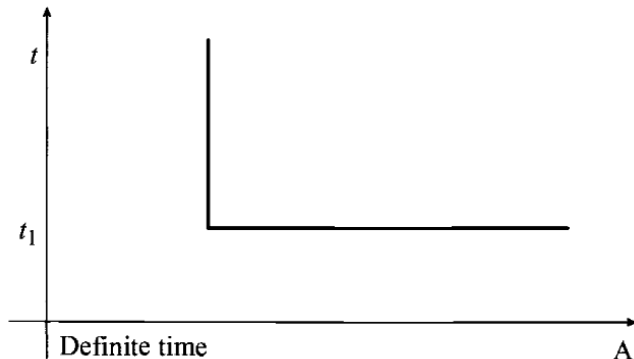
Untuk mengatasi gangguan arus lebih salah satunya kita dapat menggunakan Rele arus lebih (*Over Current Relay*). Rele arus lebih adalah rele yang bekerja ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele arus lebih akan bekerja ketika keadaan sebagai berikut [3]:

$$I_f > I_p \quad \text{Rele bekerja} \quad (\text{trip})$$

$I_f < I_p$ tidak bekerja (blok)

2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

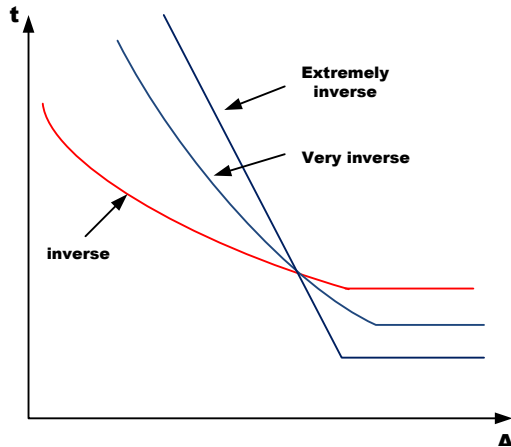
Setelan rele pengaman dengan menggunakan karakteristik waktu tertentu yang disetel pada rele pengaman hanya didasarkan pada waktu kerjanya rele pengaman dengan tidak melihat besarnya arus gangguan yang terjadi. Dengan kata lain, semua level arus yang melewati pickup set point-nya akan diputuskan dengan waktu yang sama.



Gambar 2.1 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers

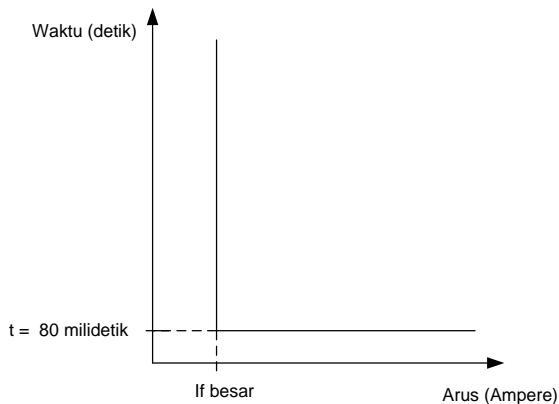
Rele dengan penyetelan waktu invers memiliki karakteristik dimana semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Dan juga sebaliknya, ketika arus gangguan semakin kecil maka waktu yang digunakan untuk beroperasi akan semakin lama [4]. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers di gambarkan dalam kurva arus-waktu atau yang biasa disebut *time-current characteristic* (TCC). Dalam standart IEEE std 242-2001 ada beberapa karakteristik kurva invers, yaitu *long time inverse*, *very inverse*, *short time inverse* dan *extreme inverse*. Untuk penggunaan kurva karakteristik juga dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan yang dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 2.2 Karakteristik *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*.

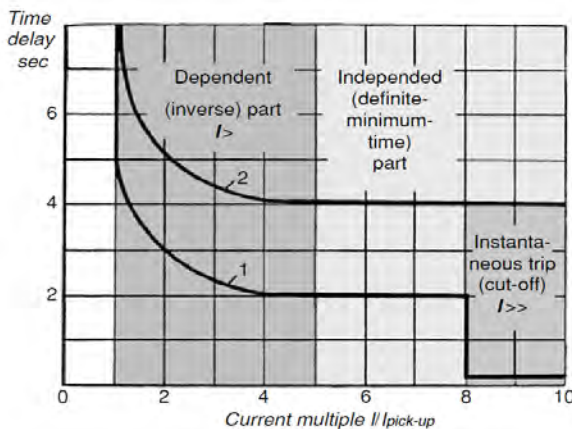
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja Rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Pada setelan koordinasi pengaman di sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan setelan instan. Bekerjanya Rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms) [6].



Gambar 2.3 Karakteristik rele arus lebih *instant*

Gambar menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan Rele arus lebih waktu instan



Gambar 2.4 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan

2.6 Penyetelan Rele Arus Lebih

Rele arus lebih pada dasarnya lebih memiliki fungsi sebagai pengaman gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal rele arus lebih ini dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih (*overload*).

Fungsi dari rele arus lebih ini selain sebagai pengaman utama untuk melindungi bagian yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up*) pada bagian berikutnya. Hal ini apabila arus lebih dipakai pada sistem dsitribusi tegangan menengah. Namun pada saluran transmisi tegangan tinggi rele arus lebih berfungsi sebagai *back up*, dimana rele jarak sebagai pengaman utama.

2.6.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers memiliki dua bagian penyetelan yaitu setelan *pickup* dan setelan time dial. Untuk setelan *pickup*, batas penyetelan Rele arus lebih adalah Rele tidak bekerja saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada Rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.4)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart British BS-142 batas penyetelannya adalah $1.05 I_{FLA} < I_{set} < 1.3 I_{FLA}$. Dimana I_{FLA} adalah arus saat beban maksimum peralatan [7].

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi Rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers Rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \quad (2.5)$$

Di mana :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.2)

α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.2)

β = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Koefisien invers *time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0.14	0.02	2.970
<i>Very Inverse</i>	13.50	1,00	1.500
<i>Extremely Inverse</i>	80.00	2.00	0.808

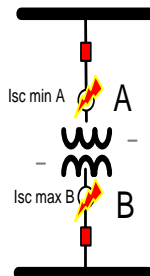
2.6.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Instan

Rele arus lebih instan, seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2.5.3 rele ini akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \text{ min}}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min}} \quad (2.6)$$

Adapun kondisi khusus yang perlu diperhatikan dalam mensetting rele arus lebih waktu instan ini. Salah satunya adalah kondisi khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada **Gambar 2.5** . Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \text{ max bus B}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min, A}} \quad (2.7)$$



Gambar 2.5 Rele arus lebih pengamanan trafo

Di mana $I_{sc \text{ max bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc \text{ min, A}}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.7 Koordinasi Rele Arus dan Waktu

Koordinasi ini digunakan untuk menentukan *time delay* pada Rele pengaman. Antara Rele pengaman utama dan Rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara Rele utama dan Rele *backup*. Perbedaan waktu kerja minimal antara Rele utama dan Rele *backup* adalah 0.2 – 0.35 detik . Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 cycle)

Overtravel dari Rele : 0.1s

Faktor keamanan : 0.12-0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari Rele diabaikan. Sehingga waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s [5].

2.8 Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Gangguan satu fasa ke tanah dapat diamankan dengan Rele gangguan tanah. Rele ini adalah pengaman arus lebih yang dilengkapi *zero sequence current filter*. Rele gangguan tanah bekerja untuk mengamankan gangguan satu fasa dan dua fasa ke tanah. Rele gangguan tanah digunakan pada pada sistem yang membatasi arus gangguan tanah. Pada rele gangguan tanah *range* setelan yang digunakan 20% - 80% dari rating arusnya atau bahkan lebih rendah, 10% - 40% [7], referensi lain menggunakan 10% - 50% [3].

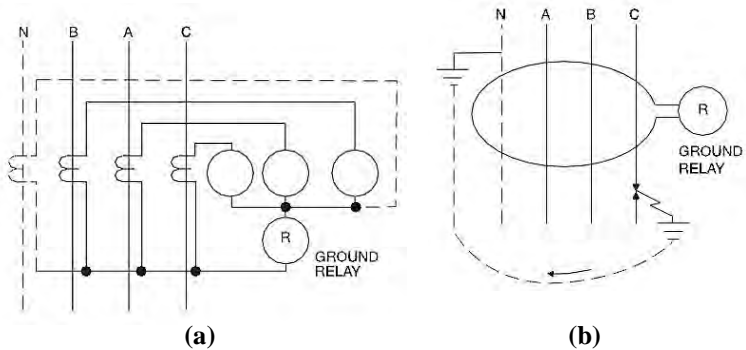
Prinsip kerja rele ini seperti pada gambar 2.6. Pengaman rele ini akan aktif jika arus sisa $I_{res} = I_a + I_b + I_c$ yang mengalir naik melebihi setelan *threshold* [5][7].

Simetri

$$I_r = I_a + I_b + I_c = 0$$

Asimetri

$$I_r = I_a + I_b + I_c = 3I_{ao}$$



Gambar 2.6 (a) Rangkaian *zero sequence current filter*. (b) Hubung singkat satu fasa ke tanah

Adapun pertimbangan pada *setting* koordinasi Rele arus lebih gangguan ke tanah adalah:

- Arus urutan nol akan terisolasi pada trafo belitan delta.
- Arus urutan nol akan mengalir dari sumber gangguan trafo belitan Wye.

Sedangkan untuk *setting* Rele gangguan ke tanah adalah :

$$(5\text{--}10)\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G} \quad (2.8)$$

Dimana $I_{sc} \text{ L-G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU VI BALONGAN

3.1. Sistem Kelistrikan di PT. Pertamina RU VI Balongan

PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan merupakan salah satu unit pengolahan kilang minyak yang dimiliki oleh PT. Pertamina yang berada di daerah Balongan, Jawa Barat. Untuk dapat menunjang kegiatan operasionalnya, PT. Pertamina RU VI Balongan menggunakan 5 unit *steam turbin generator* dengan kapasitas masing-masing 22 MW. Sedangkan total *substation* yang berada pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan berjumlah 15 *substation*. Untuk *single line diagram* sistem kelistrikan PT. Pertamina RU VI Balongan dapat dilihat pada lampiran.

3.2. Rating Tegangan

PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan menggunakan empat rating tegangan pada sistem kelistrikannya, yaitu :

1. Tegangan 20 kV
2. Tegangan 10 kV
3. Tegangan 3.15 kV
4. Tegangan 0.42 kV

3.3. Kapasitas Pembangkitan

PT. Pertamina RU VI menggunakan 5 generator terpasang dengan kapasitas masing-masing 22 MW dan 1 *emergency diesel generator* dengan kapasitas 3.6 MW untuk menyuplai beban yang besar. Untuk data kapasitas generator dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data kapasitas pembangkit di PT. Pertamina RU VI Balongan

No	ID	MW	MVA	kV	PF (%)
1	51-G-101A	22	27.5	10	80
2	51-G-101B	22	27.5	10	80
3	51-G-101C	22	27.5	10	80
4	51-G-101D	22	27.5	10	80
5	51-G-101E	22	27.5	10	80

Dari 5 unit generator dengan kapasitas 22 MW, 1 unit dioperasikan sebagai *swing* generator yaitu generator 51-G-101A dan sisanya dioperasikan sebagai *voltage control*.

Tabel 3.2. Rating *Steam Turbin Generator*

STG	51-G-101A/B/C/D/E
Daya (MW)	22
Tegangan (kV)	10
Frekuensi (Hz)	50
PF (%)	80
RPM	1500
FLA	1588

Tabel 3.3. Rating *Emergency Diesel Generator*

EDG	51-G-102
Daya (MW)	3.6
Tegangan (kV)	3.15
Frekuensi (Hz)	50
PF (%)	80
RPM	1000
FLA	824.8

Tabel 3.4. Data reaktansi *Steam Turbin Generator*

Reaktansi	STG 51-G-101				
	A	B	C	D	E
Xd	173	173	173	173	173
Xd'	17	17	17	17	19.6
Xd''	14	14	14	14	16.6
X2	17	17	17	17	17
X0	10	10	10	10	10

3.4. Sistem Distribusi

Sistem jaringan distribusi yang digunakan di PT. Pertamina RU VI Balongan menggunakan sistem jaringan distribusi radial dan juga menggunakan sistem *double bus bar*. Di Pertamina RU VI Balongan, tiap-tiap *feeder* terhubung ke masing-masing substation Diana setiap substation menghubungkan dua feeder yang berbeda dari tiap-tiap bus distribusi. Sistem memiliki 4 unit transformator utama yang akan menyalurkan daya dari pembangkit di tegangan 10 kV ke bus utama di tegangan 20 kV. Adapun data transformator utama dan bus utama dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.7. Data transformator utama

No	ID	MVA	kV	Z(%)
1	51-G-101A	27.5	10/21	9.22
2	51-G-101B	27.5	10/21	9.19
3	51-G-101C	27.5	10/21	9.08
4	51-G-101D	27.5	10/21	9.13

Tabel 3.8. Data bus utama

No	ID	kV	Arus Kontinu (A)
1	01-PSW1-01A	20	3000
2	01-PSW1-01B	20	3000

Penyaluran daya dari bus utama menuju masing-masing substation menggunakan trafo distribusi jenis transformator *stepdown* dengan beberapa kapasitas yang berbeda. Umumnya trafo distribusi ini menggunakan hubungan delta bintang dengan menggunakan pentanahan NGR. Untuk transformator distribusi dengan rating tegangan 20/3.15 kV dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.9. Data transformator distribusi 20/3.15 kV

No	Substation	ID	MVA	kV	Z(%)
1	01A	01-PTR1-01A	10	20/3.15	10.2
2	01A	01-PTR1-01B	10	20/3.15	10.19
3	01B	01-PTR1-02A	7.5	20/3.15	8.18

Tabel 3.9. Data transformator distribusi 20/3.15 kV (lanjutan)

No	Substation	ID	MVA	kV	Z(%)
4	01B	01-PTR1-02B	7.5	20/3.15	8.24
5	11	11-PTR1-01A	7.5	20/3.15	8.17
6	11	11-PTR1-01B	7.5	20/3.15	8.21
7	12	12-PTR1-01A	7.5	20/3.15	8.26
8	12	12-PTR1-01B	7.5	20/3.15	8.35
9	13	13-PTR1-01A	8.5	20/3.15	7.89
10	13	13-PTR1-01B	8.5	20/3.15	7.98
11	14B	14B-PTR1-01A	10	20/3.15	10.13
12	14B	14B-PTR1-01B	10	20/3.15	10.18
13	14A	14A-PTR1-01A	10	20/3.15	10.1
14	14A	14A-PTR1-01B	10	20/3.15	9.98
15	15	15-PTR1-01A	7.5	20/3.15	8.24
16	15	15-PTR1-01B	7.5	20/3.15	8.29
17	16	16-PTR1-01A	5	20/3.15	7.15
18	16	16-PTR1-01B	5	20/3.15	7.15
19	21	21-PTR1-01A	3	20/3.15	6.31
20	21	21-PTR1-01B	3	20/3.15	6.37
21	22	22-PTR1-01A	5	20/3.15	7.42
22	22	22-PTR1-01B	5	20/3.15	7.48
24	23	23-PTR1-01B	5	20/3.15	7.15
25	17	17-PTR1-01A	11	20/3.15	12
26	17	17-PTR1-01B	11	20/3.15	12
27	17	17-PTR1-02A	11	20/3.15	12
28	17	17-PTR1-02B	11	20/3.15	12
29	18	18-PTR1-01A	8.5	20/3.15	9
30	18	18-PTR1-01B	8.5	20/3.15	9

Tabel 3.9. Data transformator distribusi 20/3.15 kV (lanjutan)

No	Substation	ID	MVA	kV	Z(%)
31	19	19-PTR1-01A	9.5	20/3.15	9
32	19	19-PTR1-01B	9.5	20/3.15	9

3.5. Data beban

Total beban di PT. Pertamina RU VI Balongan terbagi menjadi dua yaitu beban motor sebesar 72.352 MW dan beban stasis sebesar 11.586 MW. Beban-beban ini terbagi ke dalam substation yang ada di PT. Pertamina RU VI Balongan. Untuk besarnya pembebanan pada masing-masing substation dapat dilihat pada tabel 3.12.

Tabel 3.10. Data pembebanan masing-masing substation

No	Substation	Feeder	Pembebanan (MW)
1	01A	01-PTR1-01A-P	2378
2		01-PTR1-01B-P	2305
3	01B	01-PTR1-02A-P	2877
4		01-PTR1-02B-P	2063
5	11	11-PTR2-01A-P	2815
6		11-PTR2-01B-P	1453
7	12	12-PTR1-01A-P	2426
8		12-PTR1-01B-P	1603
9	13	13-PTR1-01A-P	2575
10		13-PTR1-01B-P	2395
11	14B	14B-PTR1-01A-P	4776
12		14B-PTR1-01B-P	4453
13	14A	14A-PTR1-01A-P	3902
14		14A-PTR1-01B-P	2617
15	15	15-PTR1-01A-P	3009
16		15-PTR1-01B-P	638
17	16	16-PTR1-01A-P	861

Tabel 3.10. Data pembebanan masing-masing substation (lanjutan)

No	Substation	Feeder	Pembebanan (MW)
18	16	16-PTR1-01B-P	633
19	21	21-PTR1-01A-P	420
20		21-PTR1-01B-P	471
21	22	22-PTR1-01A-P	1430
22		22-PTR1-01B-P	1300
23	23	23-PTR1-01A-P	3461
24		23-PTR1-01B-P	1727
25	17	17-PTR1-01A-P	5917
26		17-PTR1-01B-P	4302
27		17-PTR1-02A-P	3570
28		17-PTR1-02B-P	2608
29	18	18-PTR1-01A-P	2946
30		18-PTR1-01B-P	3090
31	19	19-PTR1-01A-P	2296
32		19-PTR1-01B-P	2111

BAB 4

Hasil Simulasi dan Analisis Koordinasi Proteksi PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.

Pemodelan sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* pada *software* simulasi ETAP 7.5. Dalam membuat *single line diagram* dibutuhkan beberapa data peralatan, yaitu data kabel, trafo, generator, motor, bus, rele dan sistem pentanahan.

Setelah memodelkan sistem dengan membuat *single line diagram* sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui kondisi sistem telah dalam kondisi *steady state*, sehingga dari analisis tersebut dapat diketahui tegangan bus, pembebanan trafo, pembebanan bus, rugi-rugi daya listrik dan faktor daya pada tiap *feeder*.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi *Setting* Rele pengaman pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.

Dalam *setting* rele pengaman untuk mempermudah *setting* koordinasi rele pengaman, maka dipilih beberapa tipikal dari masing-masing plant utama PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan, yaitu

1. Tipikal pada substation 1 adalah tipikal terpanjang untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Tipikal ini terdiri dari beberapa level tegangan, yaitu 20 kV, 10 kV, 3,15 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman, yaitu rele MCVG61-A, rele R-INC.TRAFO1, rele R 51-PTR-101A, rele R-01PSW201A1, rele R-01-PTR1-01A, rele R-01-PTR2-02A. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele. Tipikal ini selanjutnya akan disebut dengan tipikal 1.
2. Tipikal pada substation 13 adalah tipikal 2 untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Tipikal ini terdiri dari beberapa level tegangan, yaitu 20 kV, 10 kV, 3,15 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman, yaitu rele MCVG61-A, rele R-

INC.TRAFO1, rele R 51-PTR-101A, rele R-13PSW201A1, rele R-13PSW201A, rele R-13-PTR2-01A. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele. Tipikal ini selanjutnya akan disebut dengan tipikal 2.

3. Tipikal pada beban motor terbesar adalah tipikal 3 untuk sistem koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Tipikal ini terdiri dari beberapa level tegangan, yaitu 20 kV, 10 kV, 3,15 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman, yaitu rele MCVG61-A, rele R-INC.TRAFO1, rele R 51-PTR-101A, rele R-INC. TRAFO 12-PTR-501A, rele R-12-PTR-501A, rele R-12-K-501A-M. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele. Tipikal ini selanjutnya akan disebut dengan tipikal 3.

4. Koordinasi rele gangguan tanah pada substation 1 adalah tipikal koordinasi rele gangguan tanah terpanjang pada sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Tipikal ini terdiri dari beberapa level tegangan, yaitu 20 kV dan 3,15 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman, yaitu rele R 51-PTR-101A, rele R-01PSW201A1, rele R-01-PTR1-01A, rele R-01-PTR2-02A. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele. Tipikal ini selanjutnya akan disebut dengan tipikal 4.

5. Koordinasi rele gangguan tanah pada substation 13 adalah tipikal 5 pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Tipikal ini terdiri dari beberapa level tegangan, yaitu 20 kV dan 3,15 kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman, yaitu rele R 51-PTR-101A, rele R-13PSW201A1, rele R-13PSW201A, rele R-13-PTR2-01A. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele. Tipikal ini selanjutnya akan disebut dengan tipikal 5.

4.3 Analisis Arus Hubung Singkat

Analisa hubung singkat dilakukan untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat sesuai dengan konfigurasi sistem yang telah diuraikan pada tipikal. Analisa ini digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih. Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan 2 parameter, yaitu hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Arus hubung singkat minimum yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada saat 30

cycle. Sedangkan arus hubung singkat maksimum yaitu arus hubung singkat 3 fasa pada saat $\frac{1}{2}$ *cycle*, 4 *cycle*, dan 30 *cycle*..

4.3.1 Hubung Singkat Maksimum

Hubung singkat maksimum terjadi pada saat semua generator bekerja pada keadaan normal. Hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan untuk *setting* rele dan *setting* kelambatan waktu 0.08-0.5 s. Hubung singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Pada simulasi gangguan hubung singkat maksimum dilakukan pada bus-bus dalam tipikal yang telah dipilih. Hasil simulasi hubung singkat maksimum dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data hubung singkat maksimum 4 *cycle*

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc.max 4 cycle (kA)
1	51-G-101A BUS	10	23,57
2	51-PTR-101A BUS	20	22,22
3	01-PSW1-01A	20	22,22
4	01-PMC2-01A	3.15	17,1
5	01-PMC3-02A	0.4	27,63
6	13-PMC2-01A	3.15	19,46
7	13-PMC3-01A	0.4	26,59
8	12-PTR-501A	3.15	34,8

4.3.2 Hubung Singkat Minimum

Hubung Singkat minimum terjadi pada saat semua generator bekerja normal. Hubung singkat minimum 30 *cycle* digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih instan. Sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat pada arus gangguan minimum, rele tersebut dapat bekerja secara instan atau sesuai dengan *setting time delay* yang telah ditentukan. Pada simulasi gangguan hubung singkat minimum dilakukan pada bus-bus dalam tipikal yang telah dipilih. Hasil simulasi hubung singkat minimum dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data hubung singkat minimum 30 cycle

no	Bus	Tegangan (kV)	Isc.min 30 cycle (kA)
1	51-G-101A BUS	10	15,74
2	51-PTR-101A BUS	20	9,52
3	01-PSW1-01A	20	9,52
4	01-PMC2-01A	3.15	12,37
5	01-PMC3-02A	0.4	22,95
6	13-PMC2-01A	3.15	13,29
7	13-PMC3-01A	0.4	21,91
8	12-PTR-501A	3.15	21,95

4.3.3 Hubung Singkat Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Analisis hubung singkat gangguan satu fasa ke tanah dilakukan untuk menentukan *setting* rele arus lebih gangguan tanah (*ground fault relay*). Pada simulasi hubung singkat gangguan satu fasa ke tanah dilakukan pada bus-bus dalam tipikal yang telah dipilih.

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan *setting* masing-masing rele pada masing-masing peralatan dimana antara rele yang satu dengan yang lain bekerja berdasarkan *setting* waktu yang telah ditentukan. Koordinasi ini hanya berguna jika terjadi gangguan arus lebih fasa saja. Gangguannya dapat berupa *over load* dan *short circuit*. Sehingga perancangan koordinasi proteksi yang baik dan benar akan menjamin keberlangsungan pada proses industri.

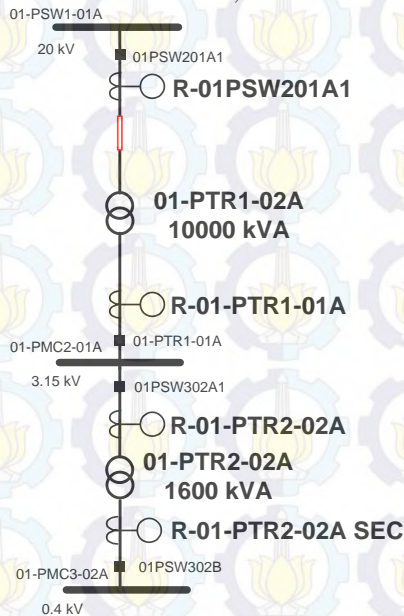
Pada koordinasi rele arus lebih dilakukan *setting* arus dan waktu pada rele arus lebih (50/51). Pada perhitungan *setting* rele arus lebih ini akan dihiutng nilai *low set*, *higt set*, *time dial* dan untuk *time delay* dipilih *gradding time* 0.2 s.

Setelah dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai *pick up low set*, *high set*, *time dial*, dan *time delay*, selanjutnya tipikal diplot pada *Star-Protective Device Coordination* sehingga *time current curve* masing-masing rele dapat terlihat dimana pada *time current curve* tersebut bisa dilihat koordinasinya apakah sudah tepat atau tidak. Rele pengamanan juga

harus memperhatikan arus *starting* motor dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo.

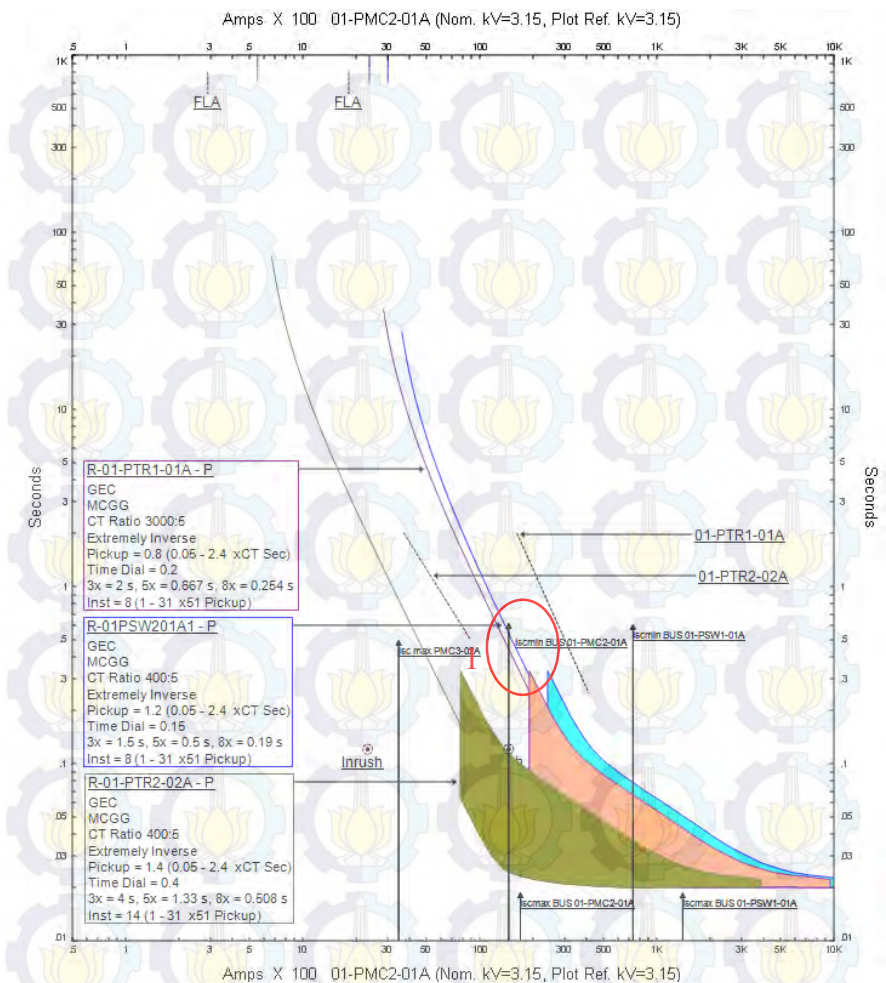
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 1 akan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu tipikal 1a dan tipikal 1b. Pembagian ini dilakukan untuk mempermudah analisis. Pada gambar 4.1 adalah gambar koordinasi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1a yang terdiri dari 3 rele, yaitu rele R-01PSW201A1, rele R-01-PTR1-01A, rele R-01-PTR2-02A



Gambar 4.1 Koordinasi rele tipikal 1.a

Pada koordinasi tipikal 1a terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih harus disempurnakan, hal ini dapat dilihat pada kurva arus waktu pada gambar 4.2 yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.



Gambar 4.2 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 1.a

Berikut ini keterangan dari lingkaran merah pada gambar 4.2

1. Apabila terjadi gangguan hubung singkat pada bus 01-PSW1-01A maka rele R-01-PTR1-01A tidak dapat bekerja tepat waktu. Hal ini dikarenakan nilai iscmin mengenai kurva *low set* rele R-01-PTR1-01A.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengamanan yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele R-01-PTR2-02A

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremly Inverse Time*
CT Ratio : 400 / 5
Isc min bus 01-PMC2-01A : 12.37 kA
Isc max bus 01-PMC2-01A : 17.1 kA
Isc.max sekunder 01-PMC3-02A : 27.63 kA

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Primer T.01-PTR2-02A} \cdot I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc min bus 01-PMC2-01A}}{CT_{\text{primer}}} \cdot I_n$$

$$\frac{1.05 \times 307.9}{400} \cdot I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 12370}{400} \cdot I_n$$

$$0.808 I_n \leq I_{set} \leq 25.7 I_n$$

Dipilih $\text{Tap} = 0.9 I_n$
 $I_{set} = 360 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ Max 01-PMC2-01A}}}{\text{tap} \times CT_{\text{primary}}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{17100}{0,9 \times 400} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 2.27 \text{ s}$$

$T_d \geq 2.27s$, dipilih $T_d = 2.27 s$

Instantaneous Pickup

$$\frac{I_{sc \text{ max Sec. T.01-PTR2-02A}(0,4kV)}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min bus 01-PMC2-01A}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{27360 \times \frac{0.4}{3.15}}{400} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 12370}{400} I_n$$

$$9.21 I_n \leq I_{\gg} \leq 25.7 I_n$$

Dipilih $Tap = 10 I_n$
 $I_{\gg} = 4000 A$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

☑ Rele R-01-PTR1-01A

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P139
 Curve Type : *Extremly Inverse Time*
 CT Ratio : 3000 / 5
 I_{sc}.min bus 01-PMC2-01A : 12.37 kA
 I_{sc}.max bus 01-PMC2-01A : 17.1 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times FLA \text{ Sec. T.01-PTR1-01A}}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min bus 01-PMC2-01A}}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 1833}{3000} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 12850}{3000} I_n$$

$$0.64 I_n \leq I_{set} \leq 3.42 I_n$$

Dipilih $Tap = 0.7 I_n$
 $I_{set} = 0.7 \times 3000 = 2100 A$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max 01-PMC2-01A}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.3 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{17100}{0,6 \times 3000} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 0.21 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0.21 \text{ s, dipilih } T_d = 0.6 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus 01-PMC2-01A}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 12370}{3000} I_n$$

$$I_{>>} \leq 3.42 I_n$$

Dipilih Tap = 3 I_n

$$I_{>>} = 9000 \text{ A}$$

Time Delay

$$\text{Time delay} = 0.3 \text{ s}$$

☑ Rele R-01PSW201A1

Manufacturer : ALSTOM

Model : P139

Curve Type : Extremely Inverse Time

CT Ratio : 400 / 5

Isc.max bus 01-PSW1-01A : 22.22 kA

Isc.min bus 01-PSW1-01A : 9.52 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times \text{FLA Primer T.01-PTR1-01A}}{\text{CTprimer}} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min bus 01-PSW1-01A}}}{\text{CTprimer}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 288,7}{400} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 9520}{400} I_n$$

$$0.75 I_n \leq I_{set} \leq 19.04 I_n$$

Dipilih Tap = 0.8 In

$$I_{set} = 0.8 \times 400 = 320 \text{ A}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ Max 01-PSW1-01A}}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^2 - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{22220}{0,8 \times 400} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 8,26 \text{ s}$$

$$T_d \geq 8,26 \text{ s, dipilih } T_d = 8.3 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$\frac{I_{sc \text{ max Sec.T.01-PTR1-01A}(3.15\text{kV})}}{\text{CTprimer}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min bus 01-PSW1-01A}}}{\text{CTprimer}} I_n$$

$$\frac{17100 \times \frac{3.15}{20}}{400} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 9520}{400} I_n$$

$$6.73 I_n \leq I_{\gg} \leq 19.04 I_n$$

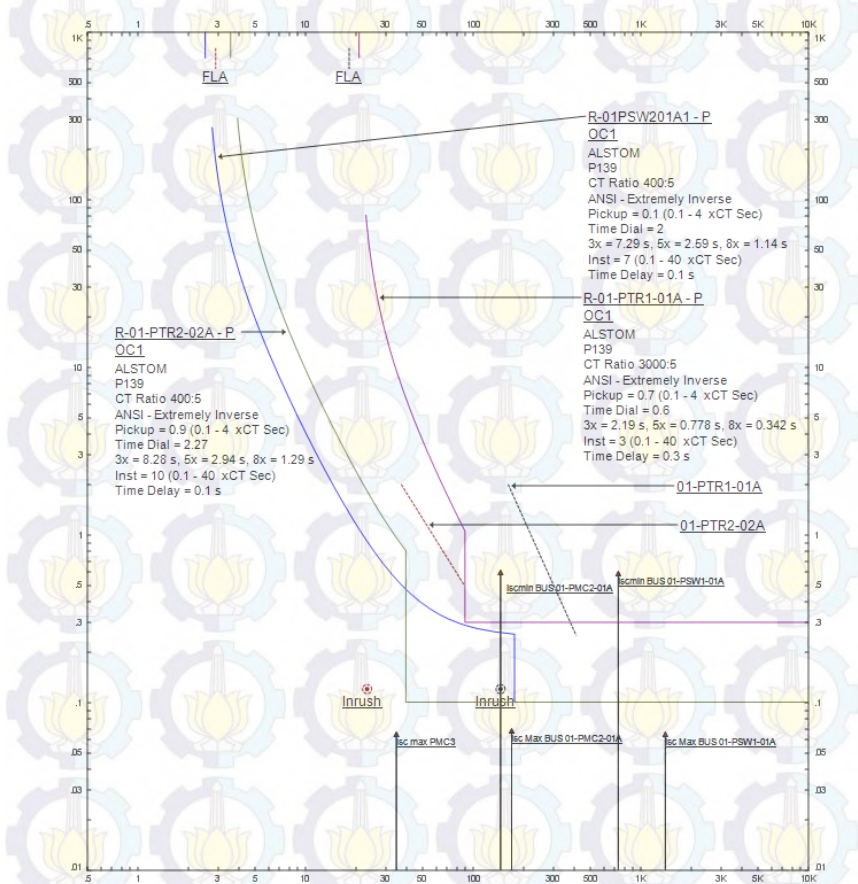
Dipilih Tap = 7 In

$$I_{\gg} = 2800 \text{ A}$$

Time Delay

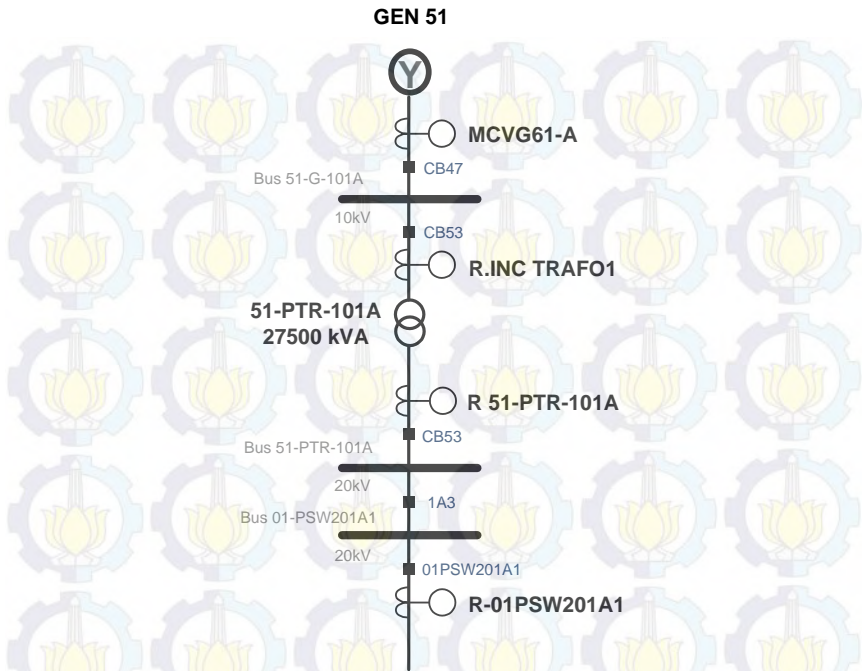
Time delay dipilih 0.1 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.3



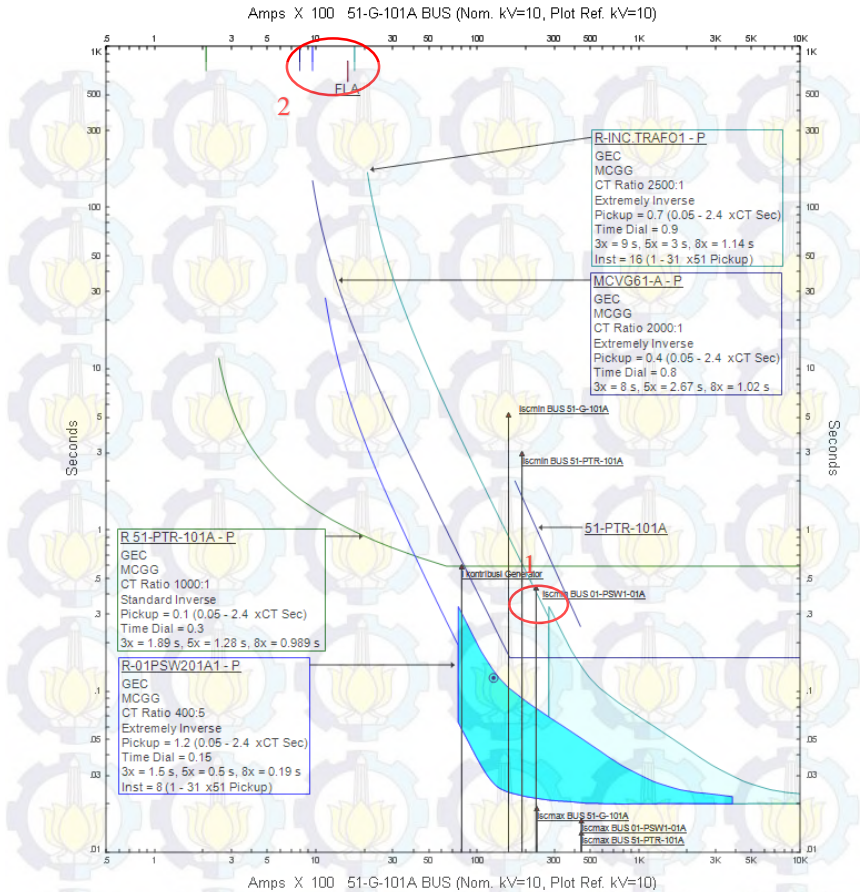
Gambar 4.3 Kurva koordinasi arus waktu *resetting* tipikal 1.a

Pada tipikal 1.b terdiri dari 4 *high voltage circuit breaker*. Rele yang akan dikoordinasikan adalah rele R-01PSW201A1, rele R-51-PTR-101A, rele 51-PTR-101A, rele MCVG61-A. Tipikal 1b dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Koordinasi rele tipikal 1.b

Pada koordinasi rele tipikal 1.b masih perlu disempurnakan. Hal itu di tandai dengan lingkaran merah yang berada pada kurva arus waktu pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 1.b

Berikut ini merupakan keterangan pada lingkaran:

1. Apabila terjadi *short circuit* minimum pada primer trafo 01-PTR1-01A (sisi 20kV) maka kerja rele INC. TRAF01-P tidak dapat bekerja karena nilai Ismin pada bus 51-G-101A mengenai kurva *low set*.
2. Trafo 12-PTR-501A, tidak bisa mencapai arus beban penuh, karena rele R-INC. TRAF0 12-PTR-501A akan bekerja.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengamanan yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele R-01PSW201A1

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremly Inverse Time*
CT Ratio : 400 / 5
Isc.max bus 01-PSW1-01A : 22,22 kA
Isc.min bus 01-PSW1-01A : 9,52 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times \text{FLA Primer T.01-PTR1-01A}}{\text{CTprimer}} \text{In} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc min bus 01-PSW1-01A}}{\text{CTprimer}} \text{In}$$

$$\frac{1.05 \times 288,7}{400} \text{In} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 9520}{400} \text{In}$$

$$0.75 \text{ In} \leq \text{Iset} \leq 19.04 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0.8 In
 Iset = 320 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times \text{Td}}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{\text{IEB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$\text{Td} = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{\text{IEB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$\text{Td} = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{\text{Isc Max 01-PSW1-01A}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$\text{Td} = \frac{0.1 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{22220}{0,8 \times 400} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$\text{Td} = 8.26$$

Td ≥ 8.26, dipilih Td = 8.3

Instantaneous Pickup

$$\frac{I_{sc \text{ max Sec.T.01-PTR1-01A}(3.15\text{kV})}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min bus 01-PSW1-01A}}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$
$$\frac{17100 \times \frac{3.15}{20}}{400} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 9520}{400} I_n$$
$$6.73 I_n \leq I_{\gg} \leq 19.04 I_n$$

Dipilih Tap = 7 I_n
 $I_{\gg} = 2800 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

☑ Rele R 51-PTR-101A

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremly Inverse Time*
CT Ratio : 1000 / 1
Isc.max bus 51-PTR-101A : 22.22 kA
Isc.min bus 51-PTR-101A : 9.52 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times FLA \text{ Sec. trafo 51-PTR-101A}}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min bus 51-PTR-101A}}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$
$$\frac{1.05 \times 756.1}{1000} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 9520}{1000} I_n$$
$$0.6048 I_n \leq I_{set} \leq 7.616 I_n$$

Dipilih Tap = 0.8 I_n
 $I_{set} = 800 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max 51-PTR-101A}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.3 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{22220}{0,8 \times 1000} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 2.34 \text{ s}$$

$$T_d \geq 2.34 \text{ s, dipilih } T_d = 2.34 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus 51-PTR-101A}}{CT_{primer}} I_n$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 9520}{1000} I_n$$

$$I_{>>} \leq 7.616 I_n$$

$$\text{Dipilih } \text{Tap} = 7 I_n$$

$$I_{>>} = 7000 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0.3 s

☑ Rele INC.TRAFO1

Manufacturer : ALSTOM

Model : P139

Curve Type : *Extremly Inverse Time*

CT Ratio : 2500 / 1

Isc.max bus 51-G-101A : 23.57 kA

Isc.min bus 51-G-101A : 15.74 kA

Isc.max sekunder 51-PTR-101A : 22.22 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times \text{FLA Primer 51-PTR-101A}}{CT_{primer}} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus 51-G-101A}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 1588}{2500} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 15740}{2500} I_n$$

$$0.66 I_n \leq I_{set} \leq 5.03 I_n$$

$$\text{Dipilih } \text{Tap} = 0.7 I_n$$

$$I_{set} = 1750 \text{ A}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi = 0.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max } 51\text{-G-101A}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.5 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{23570}{0,8 \times 1000} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 2.62 \text{ s}$$

$T_d \geq 2.62 \text{ s}$, dipilih $T_d = 4 \text{ s}$

Instantaneous Pickup

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus } 51\text{-G-101A}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 15740}{2500} I_n$$

$$I_{>>} \leq 5.03 I_n$$

Dipilih $\text{Tap} = 5 I_n$

$$I_{>>} = 12500 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0.3 s

☑ Rele MCVG61-A

Manufacturer

: ALSTOM

Model

: P139

Curve Type

: Extremely Inverse Time

CT Ratio

: 2000 / 1

Isc.max bus 51-G-101A

: 23.57 kA

Isc.min bus 51-G-101A

: 15.74 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times \text{FLA Gen. 51-G-101A}}{\text{CT}_{\text{primer}}} \text{In} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc min bus 51-G-101A}}{\text{CT}_{\text{primer}}} \text{In}$$
$$\frac{1.05 \times 1588}{2000} \text{In} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 15740}{2000} \text{In}$$
$$0.83 \text{ In} \leq \text{Iset} \leq 6.296 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0.9 In
Iset = 1800 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi = 0.5 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{K}$$
$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{\text{Isc Max 51-G-101A}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$
$$T_d = \frac{0.5 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{23570}{0,9 \times 1800} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 0.86 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.86 \text{ s}$, dipilih $T_d = 0.9 \text{ s}$

Instantaneous Pickup

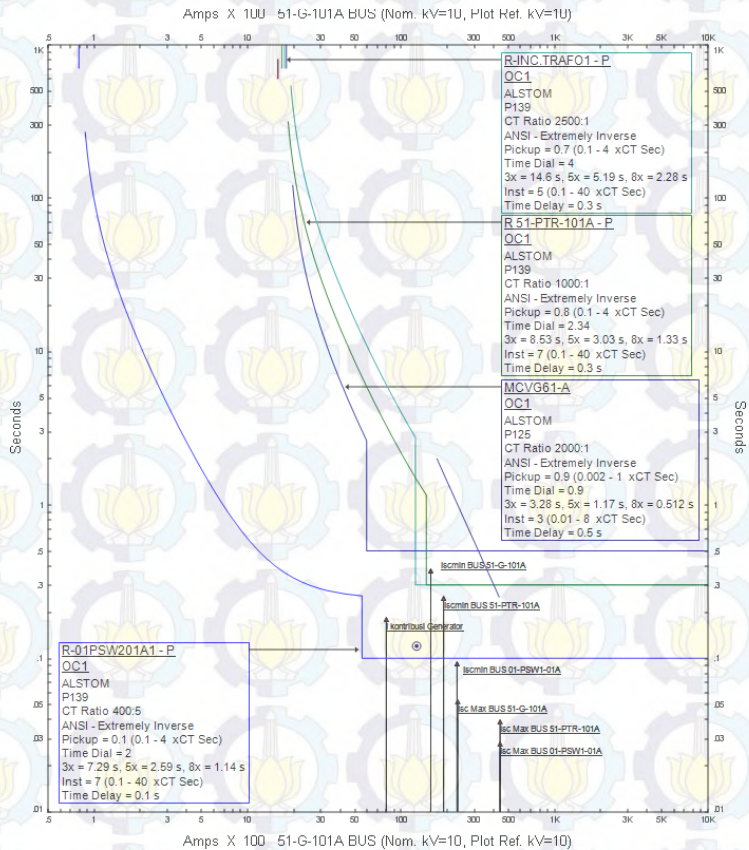
$$I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times \text{I kontribusi gen. 51-G-101A}}{\text{CT}_{\text{primer}}} \text{In}$$
$$I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 8070}{2000} \text{In}$$
$$I_{\gg} \leq 3.228 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 3 In
 $I_{\gg} = 6000 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.5 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.6

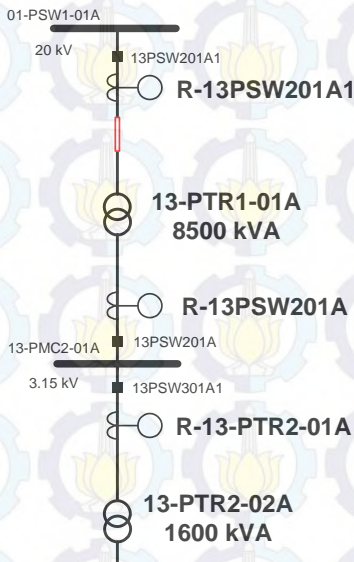


Gambar 4.6 Kurva koordinasi arus waktu *resetting* tipikal 1.b

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2

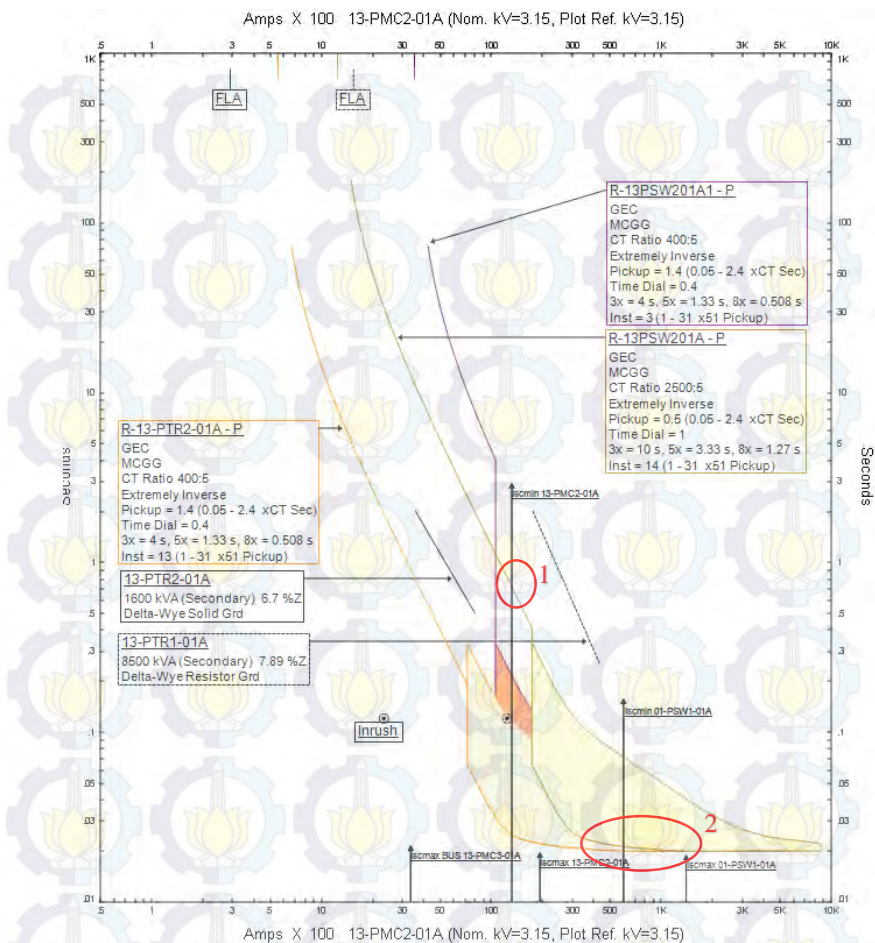
Pada tipikal koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 2 terdapat 7 *high voltage circuit breaker*. Rele rele yang akan dikoordinasikan adalah rele

MCVG61-A, rele R-INC.TRAFO1, rele R 51-PTR-101A, rele R-13PSW201A1, rele R-13PSW201A, rele R-13-PTR2-01A. Pemilihan tipikal ini berdasarkan belum pernah dilakukan *setting* koordinasi rele dan adanya penggantian rele analog GEC menjadi rele digital ALSTOM. Tipikal ini selanjutnya akan disebut dengan tipikal 2. Tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.7 Koordinasi rele tipikal 2

Pada koordinasi rele tipikal 2 masih perlu disempurnakan. Hal itu ditandai dengan lingkaran merah yang berada pada kurva arus waktu pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 2

Berikut ini merupakan keterangan pada lingkaran:

1. Apabila terjadi *short circuit minimum* pada sekunder trafo 13-PTR1-01A (sisi 3.15kV) maka kerja rele R-13PSW201A-P tidak dapat bekerja karena nilai Iscmin pada bus 13-PMC2-01A mengenai kurva low set.

2. Pada saat terjadi *Short circuit* minimum pada bus 13-PMC2-01A, rele R-13PSW201A1, rele R-13PSW201A, rele R-13-PTR2-01A akan bekerja secara bersamaan, sehingga dapat menyebabkan terjadi pemadaman total (*black out*) pada tipikal 2.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele R-13-PTR2-01A

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremely Inverse Time*
CT Ratio : 400 / 5
Isc min bus 13-PMC2-01A : 13.29 kA
Isc max bus 13-PMC2-01A : 19.46 kA
Isc.max sekunder 13-PMC3-01A : 26.59 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times \text{FLA Primer 13-PTR2-01A}}{\text{CTprimer}} \text{In} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc min bus 13-PMC2-01A}}{\text{CTprimer}} \text{In}$$

$$\frac{1.05 \times 307.9}{400} \text{In} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 13290}{400} \text{In}$$

$$0.808 \text{ In} \leq \text{Iset} \leq 26.58 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0.9 In
 Iset = 360 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi = 0.1 s

$$t = \frac{K \times \text{Td}}{\beta \times \left[\left(\frac{1}{\text{IEB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$\text{Td} = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{1}{\text{IEB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max 13-PMC2-01A}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{19460}{0,9 \times 400} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 2.95 \text{ s}$$

$$T_d \geq 2.95 \text{ s, dipilih } T_d = 2.95 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$\frac{I_{sc} \text{ max Sec.T.13-PTR2-01A}(0.4\text{kV})}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus 13-PMC2-01A}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{26590 \times \frac{0.4}{3.15}}{400} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 13290}{400} I_n$$

$$8.4 I_n \leq I_{\gg} \leq 26.58 I_n$$

$$\text{Dipilih } \text{Tap} = 9 I_n$$

$$I_{\gg} = 3600 A$$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

☑ Rele R-13-PSW201A

Manufacturer : ALSTOM

Model : P139

Curve Type : *Extremly Inverse Time*

CT Ratio : 3000 / 5

Isc.min bus 13-PMC2-01A : 13.29 kA

Isc.max bus 13-PMC2-01A : 19.46 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times FLA \text{ Sec. 13-PTR2-01A}}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus 13-PMC2-01A}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 1588}{3000} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 13290}{3000} I_n$$

$$0.55 I_n \leq I_{set} \leq 3.53 I_n$$

$$\text{Dipilih } \text{Tap} = 0.7 I_n$$

$$I_{set} = 2100 A$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max 13-PMC2-01A}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.3 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{19460}{0,6 \times 3000} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 0.35 \text{ s}$$

$T_d \geq 0.35 \text{ s}$, dipilih $T_d = 0.35 \text{ s}$

Instantaneous Pickup

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus 13-PMC2-01A}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 13290}{3000} I_n$$

$$I_{>>} \leq 3.54 I_n$$

Dipilih Tap = 3 I_n

$$I_{>>} = 9000 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay = 0.3 s

☑ Rele R-13PSW201A1

Manufacturer : ALSTOM

Model : P139

Curve Type : Extremely Inverse Time

CT Ratio : 400 / 5

Isc.min bus 01-PSW1-01A : 9.52 kA

Isc.max bus 01-PSW1-01A : 22.22 kA

Isc.max sekunder 13-PMC2-01A : 19.46 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times \text{FLA Primer T.13-PTR1-01A}}{\text{CTprimer}} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc.min 01-PSW1-01A}}{\text{CTprimer}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 245.4}{400} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 9520}{400} I_n$$

$$0.64 I_n \leq I_{set} \leq 19.04 I_n$$

Dipilih $\text{Tap} = 0.7 I_n$
 $I_{set} = 280 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{\text{Isc Max 01-PSW1-01A}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{22220}{0,7 \times 400} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 6.35 \text{ s}$$

$$T_d \geq 6.35 \text{ s, dipilih } T_d = 6.35 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$\frac{\text{Isc max Sec.T.13-PTR1-01A(0.4kV)}}{\text{CTprimer}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc min bus 01-PSW1-01A}}{\text{CTprimer}} I_n$$

$$\frac{19460 \times \frac{0.4}{3.15}}{400} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 9520}{400} I_n$$

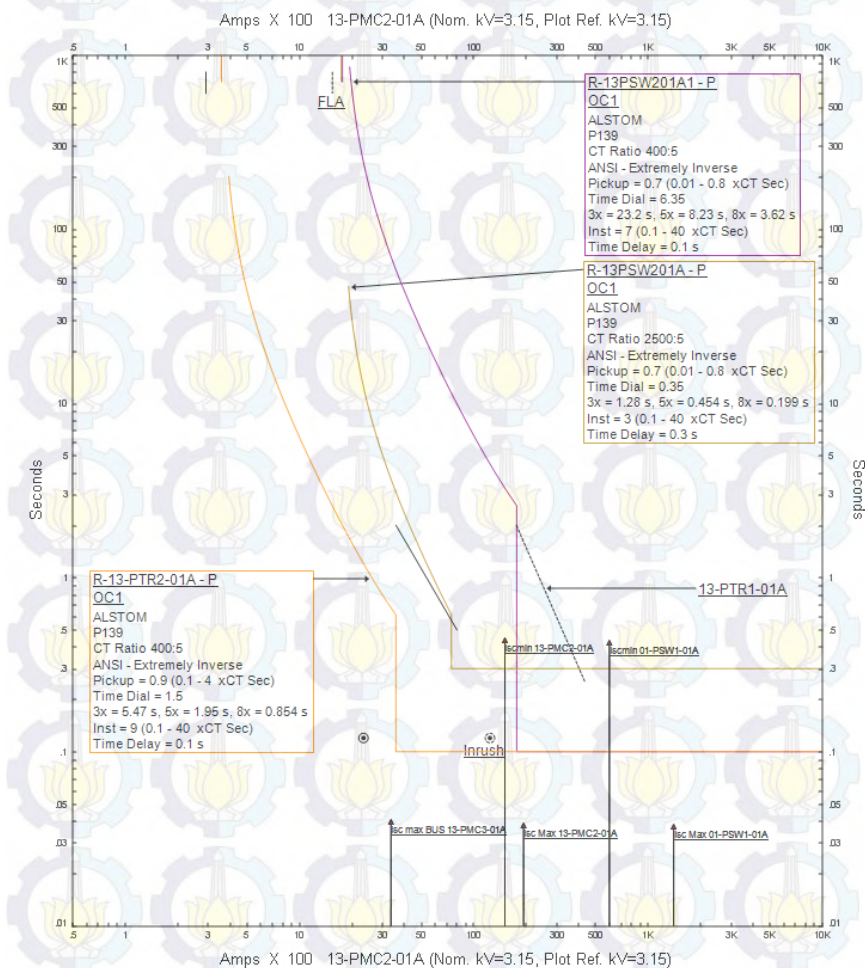
$$6.1 I_n \leq I_{\gg} \leq 19.04 I_n$$

Dipilih $\text{Tap} = 7 I_n$
 $I_{\gg} = 2800 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

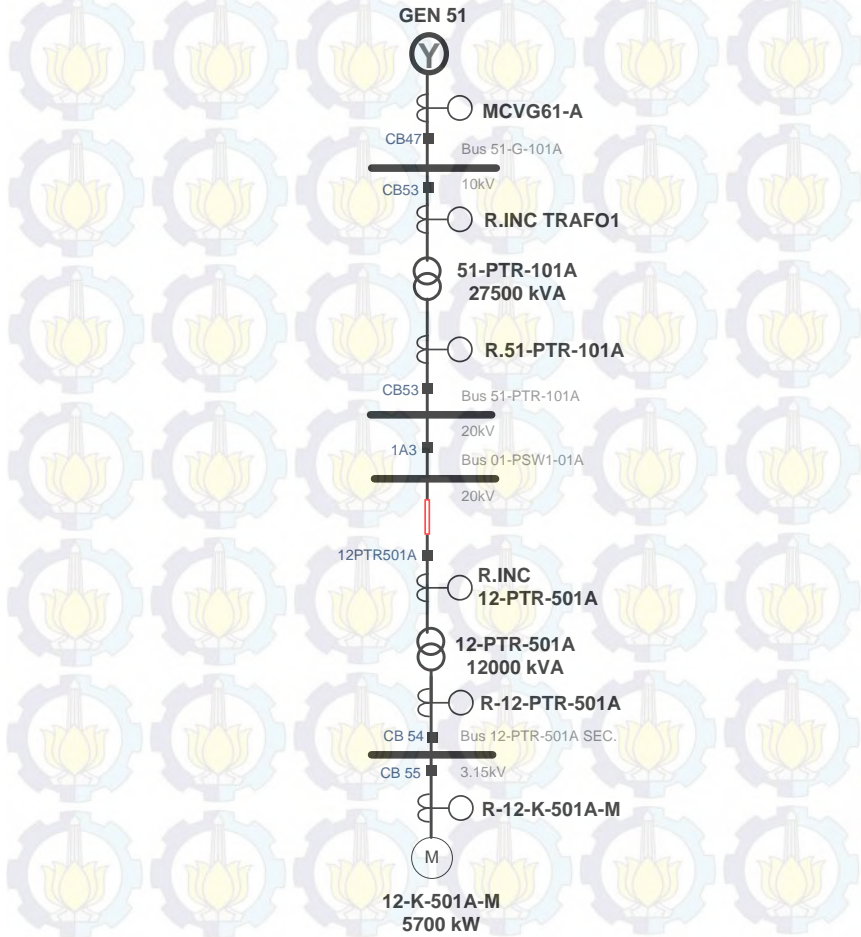
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.9



Gambar 4.9 Kurva Koordinasi arus waktu *resetting* tipikal 2

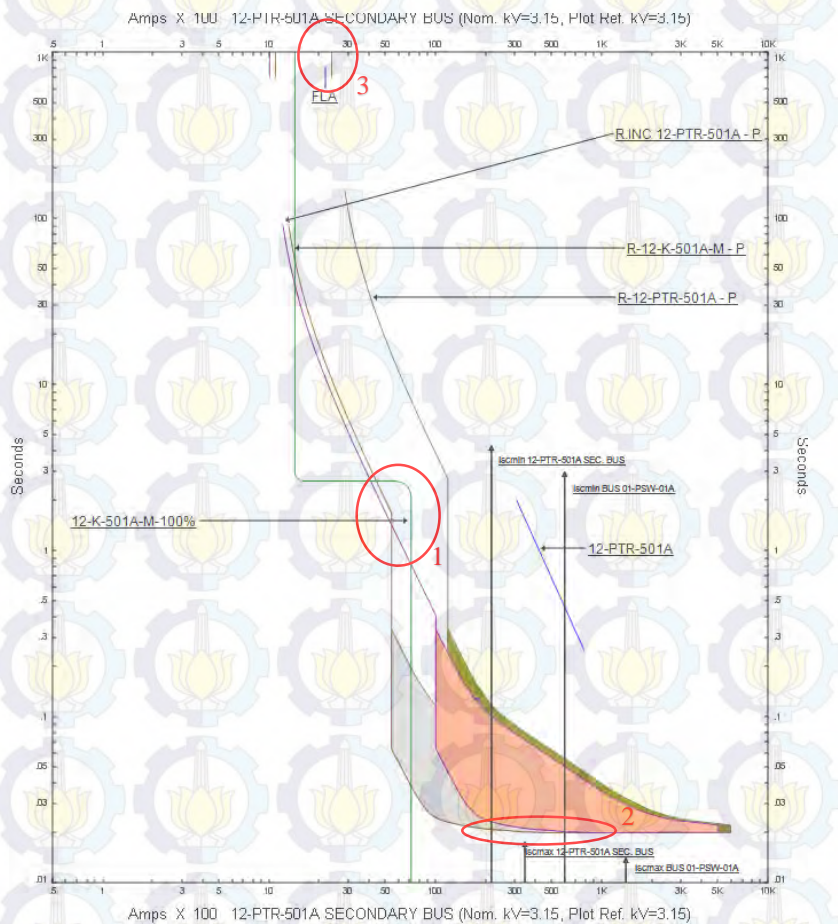
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3

Pada koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 3 terdapat 6 *high voltage circuit breaker*. Rele-rele yang dikoordinasikan dalam tipikal 3 adalah rele MCVG61-A, rele R-INC.TRAFO1, rele R 51-PTR-101A, rele R-INC. TRAFO 12-PTR-501A, rele R-12-PTR-501A, rele R-12-K-501A-M. Tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.16



Gambar 4.10 Koordinasi rele tipikal 3

Pada koordinasi rele tipikal 3 masih perlu disempurnakan. Hal itu di tandai dengan lingkaran merah yang berada pada kurva arus waktu pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 3

Berikut ini merupakan keterangan pada lingkaran:

1. *Setting* kurva rele 12-K-501A-M menyentuh kurva starting motor 12-K-501A-M 5700 kW, sehingga mengakibatkan motor 12-K-501A-M 5700 kW gagal *starting*.
2. Pada saat terjadi *Short circuit* minimum pada bus 12-PTR-501A SEC, rele R-INC. TRAFO 12-PTR-501A, rele R-12-PTR-501A, rele R-12-K-501A-M bekerja secara bersamaan, sehingga dapat menyebabkan terjadi pemadaman total (*black out*) pada tipikal 3.
3. Trafo 12-PTR-501A, tidak bisa mencapai arus beban penuh, karena rele R-INC. TRAFO 12-PTR-501A akan bekerja.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele R-12-K-501A-M

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : Extremely Inverse Time
CT Ratio : 2000 / 5
Isc.min bus 12-PTR-501A SEC. : 21.95 kA
Isc.max bus 12-PTR-501A SEC. : 34.8 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times \text{FLA motor 12-K-501A-M}}{\text{CTprimer}} \text{In} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc min bus 12-PTR-501A SEC.}}{\text{CTprimer}} \text{In}$$

$$\frac{1.05 \times 1588}{2000} \text{In} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 21950}{2000} \text{In}$$

$$0.72 \text{ In} \leq \text{Iset} \leq 8.78 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1.5 In
 Iset = 3000 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{\text{IEB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max 12-PTR-501A SEC.}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{34800}{1.5 \times 2000} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 0.13 \text{ s}$$

$$T_d \geq 0.47 \text{ s, dipilih } T_d = 0.5 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$\frac{7 \times FLA \text{ motor 12-K-501A-M}}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus 12-PTR-501A SEC.}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{7 \times 1374}{2000} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 21950}{2000} I_n$$

$$4.809 I_n \leq I_{\gg} \leq 8.78 I_n$$

$$\text{Dipilih Tap} = 5 \text{ In}$$

$$I_{\gg} = 10 \text{ kA}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

☑ Rele R. 12-PTR-501A

Manufacturer : ALSTOM

Model : P139

Curve Type : Extremely Inverse Time

CT Ratio : 3000 / 5

Isc.min bus 12-PTR-501A SEC. : 21.95 kA

Isc.max bus 12-PTR-501A SEC. : 34.8 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times FLA \text{ Sec. T.12-PTR-501A}}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min 12-PTR-501A SEC.}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 2199}{3000} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 21950}{3000} I_n$$

$$0.76 I_n \leq I_{set} \leq 8.78 I_n$$

Dipilih Tap = 0.8 In
Iset = 2400 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max 01-PSW1-01A}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.3 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{34800}{0,8 \times 3000} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

Td = 0.63 s

Td ≥ 0.63 s, dipilih Td = 0.8 s

Instantaneous Pickup

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min bus T.12-PTR-501A}}{CT_{primer}} I_n$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 21950}{3000} I_n$$

$$I_{>>} \leq 8.78 I_n$$

Dipilih Tap = 5 In

$$I_{>>} = 15 \text{ kA}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0.3 s

☑ Rele R.INC 12-PTR-501A

Manufacturer

: ALSTOM

Model

: P139

Curve Type : *Extremely Inverse Time*

CT Ratio : 400 / 5

Isc.min bus 01-PSW1-01A : 9.52 Ka

Isc.max bus 01-PSW1-01A : 22.22 kA

Isc.max bus 12-PTR-501A SEC. : 34.8 kA

Time Overcurrent Pickup

$$\frac{1.05 \times \text{FLA primer T.12-PTR-501A}}{\text{CTprimer}} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc.min 01-PSW1-01A}}{\text{CTprimer}} I_n$$
$$\frac{1.05 \times 346.4}{400} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 9520}{400} I_n$$

$$0.9 I_n \leq I_{set} \leq 19.04 I_n$$

Dipilih Tap = 1 In
Iset = 400 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0.1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^\alpha - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{\text{Isc Max 01-PSW1-01A}}{\text{tap} \times \text{CT primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = \frac{0.1 \times 0,808 \times \left[\left(\frac{22220}{1 \times 400} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T_d = 3,11 \text{ s}$$

$$T_d \geq 3,11 \text{ s, dipilih } T_d = 3.3 \text{ s}$$

Instantaneous Pickup

$$\frac{\text{Isc max Sec.T.12-PTR-501A (3.15 kV)}}{\text{CTprimer}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc min bus 01-PSW1-01A}}{\text{CTprimer}} I_n$$

$$\frac{34800 \times \frac{3.15}{20}}{400} \ln \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 9520}{400} \ln$$

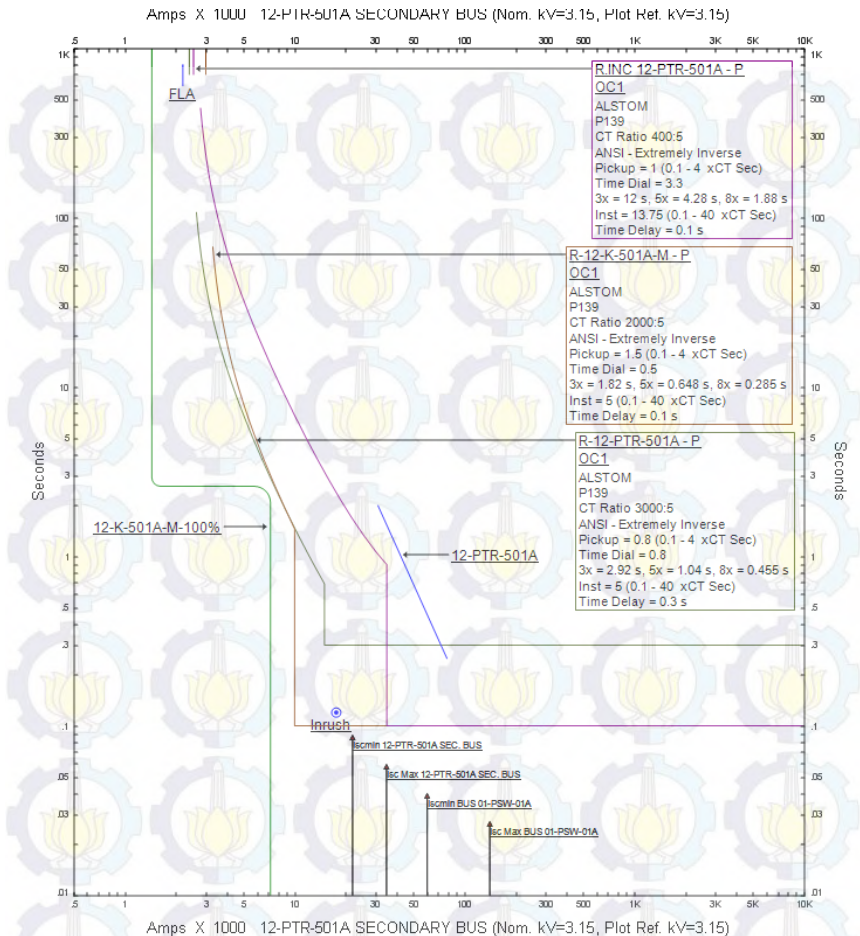
$$13.7 \ln \leq I_{\gg} \leq 19.04 \ln$$

Dipilih $\text{Tap} = 13.75 \ln$
 $I_{\gg} = 5500 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

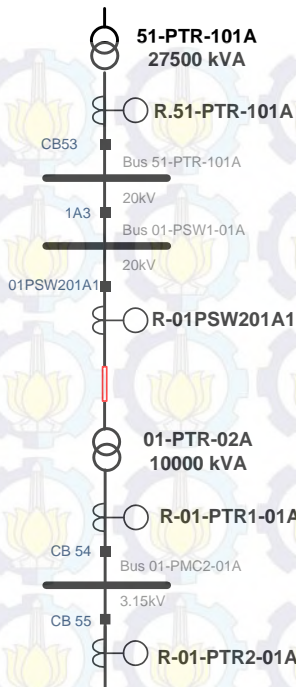
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.12



Gambar 4.12 Kurva koordinasi arus waktu *resetting* tipikal 3

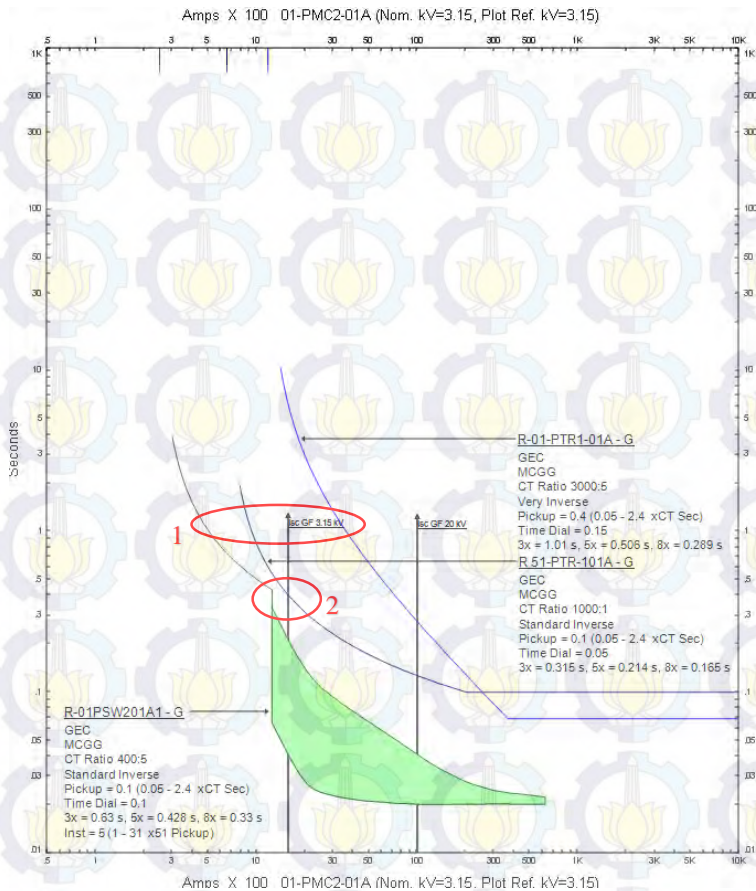
4.4.4 Koordinasi Rele arus lebih gangguan tanah tipikal 4

Koordinasi rele arus lebih gangguan tanah tipikal 4 terdiri dari 4 *high voltage circuit breaker*. Rele-rele yang dikoordinasikan dalam tipikal ini adalah R 51-PTR-101A, rele R-01PSW201A1, rele R-01-PTR1-01A, rele R-01-PTR2-02A. Koordinasi rele arus lebih gangguan tanah tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.13 Koordinasi rele tipikal 4

Pada koordinasi rele tipikal 4 masih perlu disempurnakan. Hal itu ditandai dengan lingkaran merah yang berada pada kurva arus waktu pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 4

Berikut ini merupakan keterangan pada lingkaran:

1. Dalam *setting* rele *ground fault*, rele 50G tidak perlu di diaktifkan. Karena besar gangguan sudah pasti (sesuai dengan NGR)
2. Untuk *setting* rele R-01-PTR1-01A-G tidak dapat mengamankan jika terjadi gangguan.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengamanan yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele R.51-PTR-101A

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremly Inverse Time*
CT Ratio : 1000 / 1

Time Overcurrent Pickup
Setting Time Overcurrent : *Disable*

Time Delay
Time delay = 0.3 s

$$\frac{(5-10\%) \text{ Ingr}}{\text{CTprimer}} \text{ In} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \text{ Ingr}}{\text{CTprimer}} \text{ In}$$

$$\frac{(5-10\%) 400 \text{ A}}{1000} \text{ In} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% 400 \text{ A}}{1000} \text{ In}$$

$$(0.02-0.04) \text{ In} \leq I_{\gg} \leq 0.2 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0.02 In
 $I_{\gg} = 20 \text{ A}$

☑ Rele R-01PSW201A1

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremly Inverse Time*
CT Ratio : 400 / 5

Time Overcurrent Pickup
Setting Time Overcurrent : *Disable*

Time Delay
Time delay = 0.1 s

Instantaneous Pickup

$$\frac{(5-10\%) \text{ Ingr}}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \text{ Ingr}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$
$$\frac{(5-10\%) 400 \text{ A}}{400} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% 400 \text{ A}}{400} I_n$$
$$(0.05-0.1) I_n \leq I_{\gg} \leq 0.5 I_n$$

Dipilih Tap = 0.05 In
 $I_{\gg} = 20 \text{ A}$

☑ Rele R-01-PTR1-01A

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremely Inverse Time*
CT Ratio : 3000 / 5

Time Overcurrent Pickup

Setting Time Overcurrent : *Disable*

Time Delay

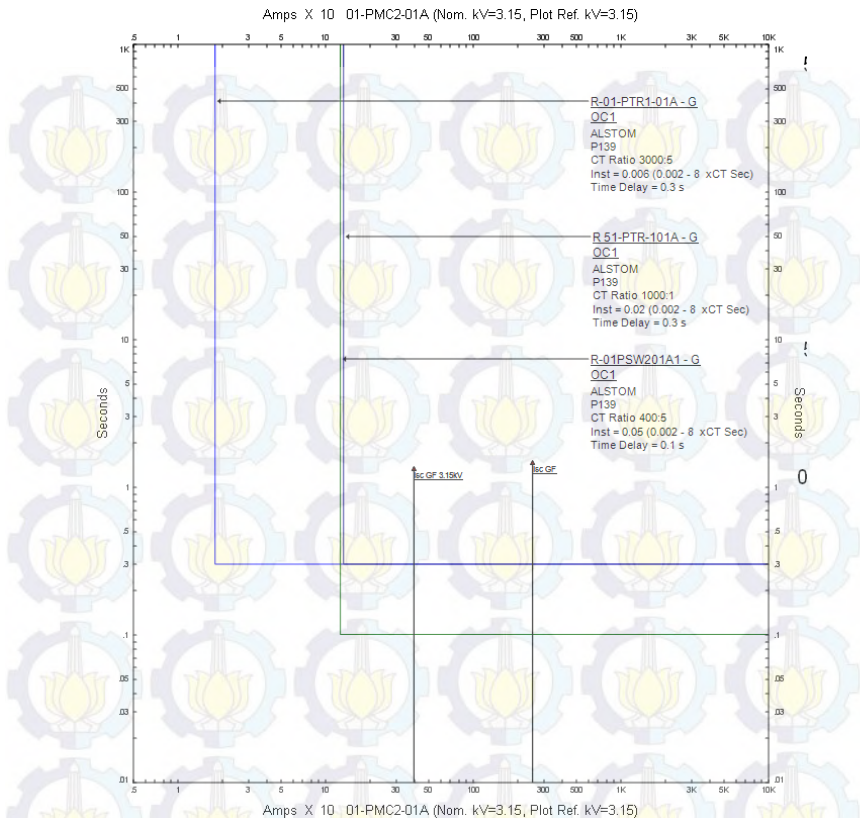
Time delay = 0.3 s

Instantaneous Pickup

$$\frac{(5-10\%) \text{ Ingr}}{CT_{\text{primer}}} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \text{ Ingr}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$
$$\frac{(5-10\%) 400 \text{ A}}{3000} I_n \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% 400 \text{ A}}{3000} I_n$$
$$(0.006-0.013) I_n \leq I_{\gg} \leq 0.06 I_n$$

Dipilih Tap = 0.006 In
 $I_{\gg} = 20 \text{ A}$

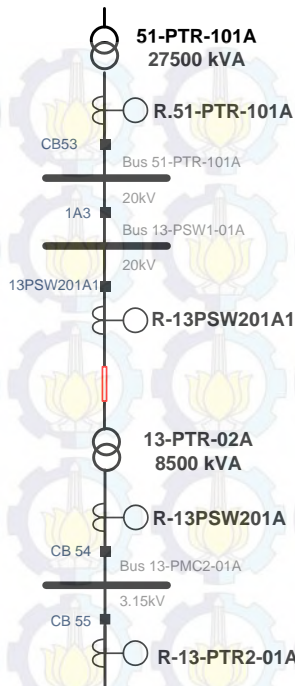
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Kurva koordinasi arus waktu *resetting* tipikal 4

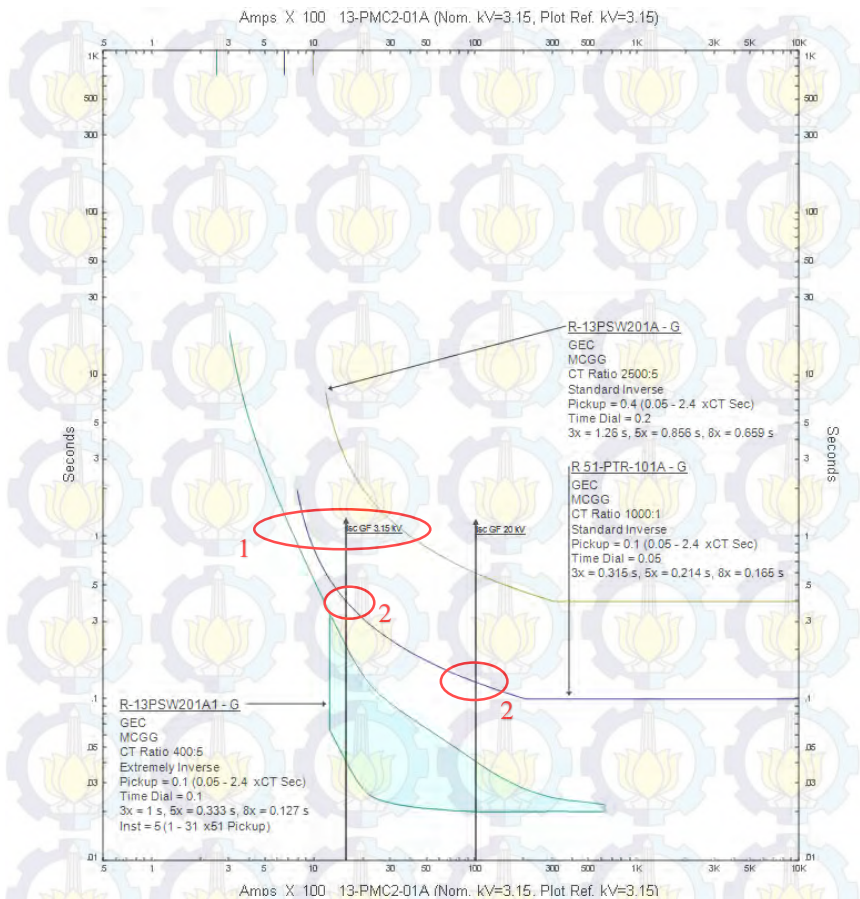
4.4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 5

Koordinasi rele arus lebih tipikal 5 terdiri dari 3 high voltage circuit breaker. Rele-rele yang akan dikoordinasikan adalah rele R 51-PTR-101A, rele R-13PSW201A1 dan rele R-13PSW201A. Koordinasi rele arus lebih tipikal 5 dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.16 Koordinasi rele tipikal 5

Pada koordinasi rele tipikal 5 masih perlu disempurnakan. Hal itu di tandai dengan lingkaran merah yang berada pada kurva arus waktu pada gambar 4.23.



Gambar 4.17 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 5

Berikut ini merupakan keterangan pada lingkaran:

1. Dalam *setting* rele *ground fault*, rele 50G tidak perlu diaktifkan. Karena besar gangguan sudah pasti (sesuai dengan NGR)
2. Untuk *setting* rele R-13PSW201A1 dan rele R-13PSW201A tidak dapat bekerja karena *setting* instan tidak mengenai *Isc ground fault*

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengamanan yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele R.51-PTR-101A

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremly Inverse Time*
CT Ratio : 1000 / 1

Time Overcurrent Pickup

Setting Time Overcurrent : *Disable*

Time Delay

Time delay = 0.3 s

Instantaneous Pickup

$$\frac{(5-10\%) \text{ Ingr}}{\text{CTprimer}} \text{ In} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \text{ Ingr}}{\text{CTprimer}} \text{ In}$$

$$\frac{(5-10\%) \text{ } 400 \text{ A}}{1000} \text{ In} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \text{ } 400 \text{ A}}{1000} \text{ In}$$

$$(0.02-0.04) \text{ In} \leq I_{\gg} \leq 0.2 \text{ In}$$

Dipilih $\text{Tap} = 0.02 \text{ In}$

$$I_{\gg} = 20 \text{ A}$$

☑ Rele R-13PSW201A1

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremly Inverse Time*
CT Ratio : 400 / 5

Time Overcurrent Pickup

Setting Time Overcurrent : *Disable*

Time Delay

Time delay = 0.1 s

Instantaneous Pickup

$$\frac{(5-10\% \%) \text{ Ingr}}{\text{CTprimer}} \text{ In} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \text{ Ingr}}{\text{CTprimer}} \text{ In}$$
$$\frac{(5-10\% \%) 400 \text{ A}}{400} \text{ In} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% 400 \text{ A}}{400} \text{ In}$$
$$(0.05-0.1) \text{ In} \leq I_{\gg} \leq 0.5 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0.05 In
 $I_{\gg} = 20 \text{ A}$

☑ Rele R-13-PTR1-01A

Manufacturer : ALSTOM
Model : P139
Curve Type : *Extremly Inverse Time*
CT Ratio : 3000 / 5

Time Overcurrent Pickup

Setting Time Overcurrent : Disable

Time Delay

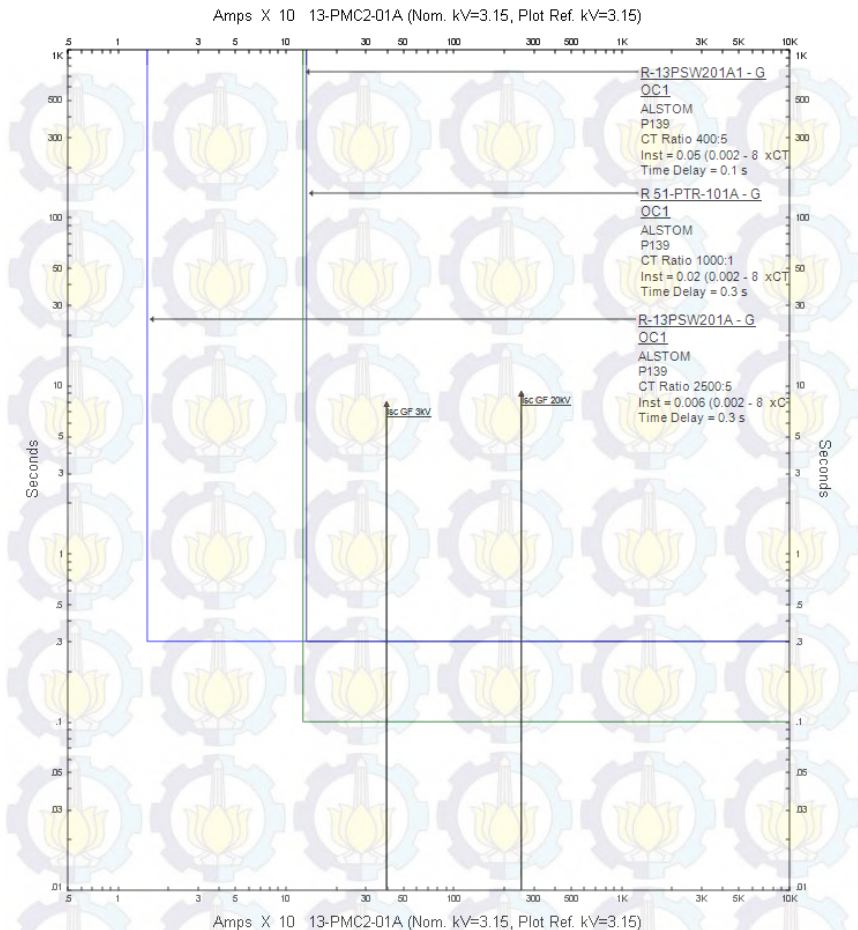
Time delay = 0.3 s

Instantaneous Pickup

$$\frac{(5-10\% \%) \text{ Ingr}}{\text{CTprimer}} \text{ In} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \text{ Ingr}}{\text{CTprimer}} \text{ In}$$
$$\frac{(5-10\% \%) 1600 \text{ A}}{3000} \text{ In} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% 1600 \text{ A}}{3000} \text{ In}$$
$$(0.006-0.013) \text{ In} \leq I_{\gg} \leq 0.06 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0.006 In
 $I_{\gg} = 20 \text{ A}$

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Kurva koordinasi *resetting* tipikal 5

4.5 Hasil Perbandingan Setting Eksisting dan *Resetting*

Pada tabel 4.3 menunjukkan perbandingan data *setting* rele eksisting dan *resetting*. Pada data *setting* rele eksisting menggunakan rele *analog* dengan *manufacturer* GEC dan dilakukan perubahan rele menjadi digital dengan *manufacturer* ALSTOM.

Tabel 4.3 Data *setting* rele overcurrent eksisting dan *resetting*

No.	Rele	Eksisting			Resetting		
		Iset (In)	Td (s)	I _» (In)	Iset (In)	Td (s)	I _» (In)
1.	R-01-PTR2-02A	1.4	0.4	14	0.9	2.27	10
2.	R-01-PTR1-01A	0.8	0.2	8	0.7	0.6	3
3.	R-01PSW201A1	1.2	0.15	8	0.8	2	7
4.	R 51-PTR-101A	0.1	0.3	-	0.8	2.34	7
5.	R-INC.TRAFO1	0.7	0.9	16	0.7	4	5
6.	MCVG61-A	0.4	0.8	-	0.9	0.9	3
7.	R-13-PTR2-01A	1.4	0.4	13	0.9	2.95	9
8.	R-13PSW201A	0.8	0.67	11	0.7	0.35	3
9.	R-13PSW201A1	1.4	0.4	3	0.7	6.35	7
10.	R-12-K-501A-M	0.55	0.5	5	1.5	0.5	5
11.	R-12-PTR-501A	0.8	0.8	5	0.8	0.8	5
12.	R-INC. TRAFO 12- PTR-501A	0.4	0.5	10	1	3.3	13.7

Tabel 4.4 Data *setting* rele groundfault eksisting dan *resetting*

No.	Rele	Eksisting			Resetting		
		Iset (In)	Td (s)	I _» (In)	Iset (In)	Td (s)	I _» (In)
1.	R-01-PTR1-01A	0.4	0.15	-	-	-	0.006
2.	R-01PSW201A1	0.1	0.1	5	-	-	0.05
3.	R 51-PTR-101A	0.1	0.05	-	-	-	0.02

Tabel 4.4 Data *setting* rele *groundfault* eksisting dan *resetting* (lanjutan)

No.	Rele	Eksisting			Resetting		
		Iset (In)	Td (s)	I _{>>} (In)	Iset (In)	Td (s)	I _{>>} (In)
4.	R-13-PTR1-01A	0.4	0.2	-	-	-	0.006
5.	R-13PSW201A1	0.1	0.1	5	-	-	0.05

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi dan analisis koordinasi rele pengaman pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil plot koordinasi kurva arus waktu *existing* PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan menunjukkan bahwa banyak rele yang terjadi *miss-coordination* pada rele utama dan rele backup. Hal ini mengakibatkan kinerja rele kurang baik dalam melokalisir gangguan pada sistem, sehingga menyebabkan padam total (*black out*) pada pabrik PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.
2. *Miss-coordination* setelah *existing* terletak pada penyetelan *time delay* rele, karena pada setelan *existing* tidak ada *grading time* sehingga seluruh rele berada pada 0,1 s. *Grading time* Sehingga ketika terjadi gangguan akan bekerja secara bersamaan.
3. *Miss-coordination* setelah *existing* pada rele arus lebih gangguan tanah terletak pada *setting* 50G. Hal ini kurang tepat karena nilai arus gangguan sudah pasti (sesuai dengan NGR), sehingga *setting* untuk rele 50G tidak perlu diaktifkan.

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan diatas, penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Diperlukan perhitungan manual untuk *resetting* rele yang sesuai dengan manufakturnya dan plot koordinasi kurva arus waktu. Dari hasil dari plot dapat memperlihatkan bahwa tidak ada rele yang terjadi *miss-coordination* pada rele utama dengan rele *backup*. Dapat dikatakan bahwa koordinasi kerja antar rele dapat berjalan dengan baik dan sesuai urutannya.
2. Dari *setting* rele pengaman yang didapat dan hasil dari plot kurva arus waktu *resetting* dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan *setting* rele pengaman pada PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soeprijanto, Adi ”*Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*”, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [2] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [3] Lazar irwin “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [4] Anderson, P.M, “*Power System Protection*”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
- [5] IEEE std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Cordination of Industrial and Commercial Power System*”The institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001.
- [6] Phadke, Arun G, dan Thorp, James S, “*Computer relaying for Power System*”, John Wiley and Sons, Ltd., England, Ch.2, 2009
- [7] Préve, Christophe, “*Protection for Electrical Network*”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
- [8] Instruction Manual “*Multi-Functional Protective Relay with Bay Controller 7SJ62 V4.0/V4.1*” Siemens. 1999

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Luvy Arfendi Putra. Lahir di Surabaya pada tanggal 11 Januari 1992. Penulis merupakan anak kedua dari bersaudara pasangan Luluk Waluyo dan Lief Rachmania ini mengawali pendidikannya di SDN Puja II Surabaya, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 19 Surabaya pada tahun 2004. Setelah lulus dari SMP Negeri 19 Surabaya pada tahun 2007 penulis melanjutkan pendidikannya ke SMAN 16 Surabaya. Kemudian setelah lulus dari SMAN 16 Surabaya pada tahun 2010, penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah di Jurusan Teknik Elektro penulis aktif dalam berbagai kepanitiaan dan organisasi. Penulis pernah menjadi panitia SITIA 2012 dan SITIA 2013. Penulis pernah aktif sebagai staf di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro pada periode 2012-2013.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan